

— АПР 1957
Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

Доц. М. А. ГАВРИЛОВ

ДЕП

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

Цена 7 р. 50 к., пер. 1 р.

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
РЕДАКЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1938 ЛЕНИНГРАД

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать	По чьей вине
9	18 сверху	Рионско-	Рейнско-	авт.
48	20, 21 и 23 снизу	kW	MW	»
101	11 снизу	измерения	изменения	
144	19 снизу	передаваемой	передающей	»
167	15 снизу	в месте	в место	»
238	14 сверху	провод Б	провод А	ред.
238	15 сверху	провод В	провод Б	авт.
304	Подписи под фигурами 202а и 202б нужно поменять местами			»
429	15 снизу	панелях	каналах	»
454	9 снизу	вместо	в место	корр.

Г а в р и л о в, Телемеханизация диспетчерского управления.

Индекс ЭЭ-30-5-2(3)

Прот. ТКК № 120 от 17/X 1937 г.



Редакторы инж. В. Н. Залесский и А. Д. Смирнов
Технический редактор В. Н. Шипов.

Сдано в производство 22/IV 1937 г.
Подписано к печати 29/IV 1938 г.
Формат бумаги 60×92¹/₁₆.
Колич. печ. листов 30,75+2 вклейки.
Учетно-авторских листов 39,1.
Колич. бум. листов 15,38.

Колич. печ. зн. в 1 бум. листе 102 550.
Авторских листов 36,45.
Энергорекдакция № 42.
Заказ № 2069.
Тираж 4 000. Учетный № 7112.
Уполномоченный Главлита № Б-42552

Отпечатано на бумаге Камской фабрики.

4-я тип. ОНТИ НКТП СССР „Кр. Печатиик“, Ленинград, Международный, 75а.

ОТ РЕДАКЦИИ

Внедрение автоматики и телемеханики в народное хозяйство нашей страны является неотложной задачей ближайшего времени. В связи с этим наши технические школы уделяют большое внимание подготовке кадров, специализирующихся в этой области. В своей работе по подготовке кадров учебные заведения встречают серьезные затруднения ввиду отсутствия учебной и производственно-технической литературы по общим и специальным вопросам автоматики и телемеханики.

Заполнение Пробега в технической литературе по указанным вопросам представляет большие трудности. Книги на иностранных языках насчитываются единицами и к тому же некоторые из них не представляют большого интереса, так как авторы их в ущерб объективности пропагандируют конструкции разработанные фирмами, с которыми они связаны по своей прямой работе. Привлечение преподавателей наших учебных заведений и работников научно-исследовательских учреждений к созданию оригинальных книг до последнего времени не давало должного эффекта ввиду перегруженности специалистов текущей работой и отсутствия установившихся взглядов по отдельным важнейшим вопросам автоматики и телемеханики, что затрудняло работу по составлению книг.

Книга М. А. Гаврилова — Телемеханизация диспетчерского управления энергетическими системами — является второй оригинальной книгой по автоматике и телемеханике и носит описательный характер с небольшим (по объему) материалом расчетного характера. Первой была книга Б. И. Доманского — Централизованное управление электрическими установками и системами, изданная в 1933 г.

Трудности создания книги, посвященной новой отрасли техники, очевидны: быстрое развитие создает разрыв между материалом книги и достижениями практики — книга отстает; появление новых точек зрения заставляет пересматривать сложившиеся представления и, кроме того, в этой области существует еще очень много «секретов», бережно охраняемых капиталистическими фирмами.

Эта книга обладает рядом естественных для новых книг недостатков, вызванных, главным образом, отсутствием широкого практического опыта.

Редакция считает, что работа с этой книгой, в первую очередь в учебных заведениях, позволит выявить эти недостатки и устранить их при издании книг по автоматике и телемеханике.

Редакция энергетической литературы

ОТ АВТОРА

Телемеханика — сравнительно молодая область техники и применение ее началось 15—20 лет тому назад. Она находится еще в начале своего развития, и значительная часть понятий, конструкций и методов, употребляемых ею, является не установившейся.

В СССР вопросами телемеханики начали заниматься 6—7 лет назад. Несмотря на значительную исследовательскую работу в этой области и большую нужду в применении телемеханической аппаратуры в ряде отраслей народного хозяйства, производство телемеханической аппаратуры еще не налажено, выполненные и работающие установки насчитываются единицами и эксплуатационный опыт по применению их весьма незначителен. Составление книги, посвященной применению телемеханической аппаратуры, даже в какой-либо одной области, представляет в этих условиях значительные трудности, и эта книга не может претендовать на исчерпывающую полноту.

Однако потребность в такой книге как для студентов вузов, специализирующихся в области автоматики и телемеханики, так и для инженеров, работающих в этой области, исключительно велика. Поэтому автор не считал себя вправе задерживать опубликование имеющихся у него материалов, накопленных за время его работы в области телемеханизации энергосистем в производственных и проектных организациях, а также во время педагогической деятельности в этой области.

Настоящая книга посвящена применению телемеханики в энергосистемах. Производство и распределение электрической энергии является отраслью, в которой телемеханическая аппаратура получила наибольшее распространение. Вместе с этим, в этой отрасли производства телемеханическая аппаратура имеет свои наиболее сложные формы. Это объясняется тем, что в ряде случаев телемеханическая аппаратура при применении ее в энергосистемах входит в виде составной части в комплексные установки, служащие не только для целей передачи на расстояние (установки суммирования, регулирования и т. п.). К усложнению телемеханических устройств в энергосистемах приводит также и то, что в ряде случаев здесь приходится использовать ка-

налы связи, занятые для работы других телемеханических устройств или устройств связи.

Для того чтобы дать представление о влиянии этих комплексных установок на работу телемеханических устройств, в книгу введены главы, посвященные регулированию частоты и нагрузки в энергосистемах, суммированию и многократному использованию линий связи.

В энергосистемах телемеханическая аппаратура имеет основное применение в диспетчерском управлении. Поэтому все рассмотрение применения ее ведется главным образом с этой точки зрения. В частности, для этой цели описанию конструкций и принципов действия телемеханической аппаратуры предпосланы главы, в которых рассматриваются организация и функции диспетчерского управления в энергосистемах, а в конце книги рассматриваются вопросы проектирования диспетчерских пунктов.

Несмотря на сравнительно небольшое время своего существования телемеханика получила очень широкое развитие. Количество используемых ею идей, принципов и методов весьма велико. Поэтому, несмотря на сравнительно большой объем настоящей книги, ее содержание пришлось ограничить преимущественно описательной частью, хотя в ряде случаев в ней достаточно подробно развиваются и теоретические положения, необходимые для понимания существа изложения. Развитие полной теории телемеханических устройств требует специальной работы.

Значительное внимание в настоящей книге уделено описанию советских конструкций. Описание всех конструкций телемеханической аппаратуры, разработанных в СССР, поместить не удалось, но все наиболее характерные и апробированные разработки с той или иной степенью подробности в книге описаны.

Ввиду отсутствия установившейся терминологии в области телемеханики и неудовлетворительности ряда применяемых терминов автором в ряде случаев введены новые термины. Во всех этих случаях в книге приведены специальные обоснования выбора этих терминов. Автор будет благодарен за все замечания по настоящей книге и просит направлять их по адресу: Энергоредакция, Москва. Красноказарменная, 13.

М. А. Гаврилов

18 марта 1938 г.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

ГЛАВА I

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Общие сведения

Основной тенденцией развития энергоснабжения на протяжении всей истории электроэнергетики является постоянно усиливающаяся концентрация производства энергии, сопровождаемая ростом мощности электрических станций и протяженности электросетей.

Современное состояние электроснабжения характеризуется созданием так называемых энергетических систем, объединяющих работу ряда электрических станций.

Энергетические системы позволяют наиболее рационально использовать энергетические ресурсы обслуживаемого района и значительно укрупняют производство электрической энергии, сосредоточивая его на мощных современных электрических станциях с технически совершенным оборудованием. Значительная мощность станций и сетей, объединяемая в энергетической системе, и возможность широкого маневрирования этой мощностью значительно увеличили надежность электроснабжения.

Применение высоких и сверхвысоких напряжений для передачи электрической энергии позволяет современным энергетическим системам охватывать большие территории, стимулируя тем самым расширение районов потребления и внедрение принципа централизованного электроснабжения.

Первые электростанции, появившиеся в 1881 г. в Америке, имели мощность в несколько десятков киловатт. Мощность современных крупных электроцентралей достигает нескольких сотен тысяч киловатт, а крупнейших энергосистем до двух и более миллионов киловатт. Если максимальное напряжение первых электрических установок составляло 110—220 В с радиусом действия в несколько сот метров, то современные энергетические системы работают при напряжении в 110—220 кВ и имеют радиус действия в несколько сотен, а иногда и тысяч километров.

Наибольшая мощность тепловой электрической станции составляет 770 MW (станция Hudson Avenue Эдисоновской компании в Нью-Йорке). Наибольшая по мощности тепловая станция Европы — станция Гольденберг в Рейнской области в Германии — имеет 500 MW.

В СССР мощность наиболее крупных тепловых станций достигает 200—300 MW.

Наибольшими гидроэлектрическими станциями мира в настоящее время являются американская станция Болдер Дам в 1 200 000 л. с. и Днепровская ГЭС им. Ленина в 810 000 л. с.

Самой мощной энергетической системой в мире является система Эдисоновской компании в Нью-Йорке (New-York Edison Co), которая на 1/1 1935 г. имела установленную мощность генераторов в 2 300 MW.

Наибольшими по величине в СССР являются: система Московского объединения электрических станций (Мосэнерго), Южная и Уральская системы. Система Мосэнерго на 1/1 1936 г. имела установленную мощность в 780,4 MW. В ближайшие годы (1938 г.) она войдет в межрайонную Центрально-промышленную энергосистему, которая должна образоваться из слияния сетей Московской энергосистемы с Горьковско-Ивановской. Установленная мощность достигнет 2 000 MW и годовая производительность 8,5—9 млн. MWh.

Южная межрайонная энергосистема образуется в 1938 г. путем соединения Приднепровской, Донбасской и Азово-Черноморской энергосистем. Наибольшая протяженность этой системы составляет свыше 500 km, установленная мощность в начале третьей пятилетки будет равна около 2 000 MW и годовая производительность около 8 млн. MWh.

Межрайонная уральская система образована путем соединения сетей Северного, Среднего и Южного Урала. Протяженность этой системы составит в 1938 г. около 720 km, установленная мощность машин по плану третьей пятилетки — около 1 300 MW и годовая производительность около 5 млн. MWh.

Мощность и выработка крупнейших современных советских, американских и германских энергосистем приведены в табл. 1, цифры которой частично заимствованы из доклада проф. Вейца на Международной парижской конференции по сетям высокого напряжения в 1935 г.

В скобках указаны цифры максимальной производительности, имевшей место до кризиса.

По энергосистемам СССР показаны мощности и выработка электростанций Главэнерго без учета параллельно работающих промышленных и коммунальных электростанций.

Мыслью в настоящее время пределом развития энергетических систем является создание единых высоковольтных сетей, охватывающих целые страны и континенты. Ряд проектов создания таких сетей появился в Америке в 1919—1923 гг. (проекты Мюрея, Баума и др.), в Европе в 1929—1930 гг. (проекты Оливена, Виеля и др.). Один из этих проектов — проект создания общеевропейской высоковольтной сети — был доложен на Второй мировой энергетической конференции в Берлине инж. Оливеном. В условиях капиталистического хозяйства объединение единой сетью энергосистем различных стран, имеющих противоречивые интересы и конкурирующих в хозяйственном отношении, является немыслимым. Проект инж. Оливена поэтому не получил дальнейшего развития.

ТАБЛИЦА 1
Энергосистемы СССР, Германии и Америки

№ по пор.	Название энергосистемы	Установлен- ная мощность на 1/1 1937 г. в MW	Выработка электро- энергии за 1936 г. в MW 10 ⁶
I. СССР			
1	Московская	945	5,2
2	Ленинградская	590	2,9
3	Донбасская	700	4,05
4	Уральская	732	5,0
5	Приднепровская	807	2,6
6	Горьковско-Ивановская	320,5 ³	1,2 ⁴
II. США			
7	Эдисоновская в Нью-Йорке (New York Edison Co)	2360	6,0
8	Ниагара-Гудзон (Niagara Hudson Company Corporation System)	1680	7,5
III. Германия			
9	Рионско-Вестфальская	1260 ²	2,21 ¹ (2,78)
10	Электроверке	740 ²	1,82 ¹ (2,33)
11	Беваг	640 ²	1,26 ¹ (1,54)
12	Саксонская	440 ²	0,98 ¹ (1,02)

В условиях СССР, наоборот, сооружение единой высоковольтной сети является вполне реальным и должно дать значительный народно-хозяйственный эффект.

Создание этой сети, допуская переброску больших количеств энергии, значительно улучшит использование местных энергетических ресурсов. Оно позволит доставлять энергию из богатых дешевыми энергетическими ресурсами районов в бедные. Оно улучшит использование водных сил путем соединения на параллельную работу взаимно удаленных гидростанций на реках с горным и равнинным режимами. Одновременно улучшится использование и паровых станций, которые можно в этом случае сооружать на весьма большую мощность и располагать в наиболее удобных пунктах сети.

Несовпадение осветительных максимумов в отдельных районах благодаря большой географической протяженности единой высоковольтной сети улучшит общий график нагрузки и повысит число часов использования станций. В том же направлении будет сказываться и несовпадение начала и конца рабочего дня на предприятиях. Наличие

¹ За 1933 г.² На начало 1934 г.³ На начало 1936 г.⁴ За 1935 г.

дешевой энергии во всех частях страны и возможность получения ее там, где нет дешевых источников энергии, будет стимулировать возникновение энергоемких предприятий с большим и равномерным потреблением электрической энергии. Наличие дешевой электрической энергии позволит электрифицировать все основные железнодорожные магистрали и ускорит электрификацию сельского хозяйства.

Первыми ячейками единой высоковольтной сети СССР являются сооружаемая в 1938 г. Южная система и Уральская система.

2. Характеристика работы энергосистем

Энергетической системой называется комплекс электрически связанных между собой электростанций и магистральных и распределительных сетей. По определению Главэнерго энергетическая система характеризуется следующими свойствами¹:

а) взаимозависимым электрическим режимом всех входящих в состав энергосистемы электроустановок (частота, токораспределение, короткие замыкания и т. п.);

б) единым резервом силового оборудования;

в) возможностью транзитной переброски в пределах системы значительных мощностей, порядка не менее 10% от полной мощности станций.

Энергосистемы, создаваемые в СССР, отличаются рядом признаков, которые можно охарактеризовать общим названием «плановая» энергосистема. Проф. Вейц в своем докладе на Парижской конференции по сетям высокого напряжения в 1935 г. характеризует плановую энергосистему следующими признаками:

а) План развития энергосистемы органически увязывается с планом развития народного хозяйства обслуживаемых районов и с планом строительства единой межрайонной электроэнергетической системы страны.

б) Состав и размещение генерирующих мощностей электросистемы, состав и конфигурация электросети непосредственно увязываются со структурой и размещением производительных сил района.

в) Выбор энергетических ресурсов для станций определяется критерием народнохозяйственной эффективности использования энергетических ресурсов района и страны в целом. Основное направление — комплексное и комбинированное использование первичных (природных) и вторичных (энергетических отходов производства) ресурсов энергии; все возрастающая роль теплофикационных и гидроэлектрических мощностей в электросистеме. Последние в перспективе развития становятся ведущими звеньями электроэнергетических систем и их межрайонных объединений.

г) Выбор мощностей и параметров оборудования станций (конденсационных, теплофикационных и гидроагрегатов) определяется масштабом, структурой и режимом электросистемы и перспективами ее развития, планомерно увязанными с народным хозяйством.

¹ Проект «Положения по оперативному управлению электросистемой» Главэнерго, 1935 г.

д) Суточный и годовой режимы электроцентралей и основных потребителей энергии увязываются единым планом, в основе которого лежат критерии народнохозяйственной экономичности (плановое регулирование графиков потребления электроэнергии, увязанных с оптимальными графиками режима электросистемы).

Процесс производства и распределения электрической энергии имеет ряд специфических особенностей, резко отличающих его от всех других производств.

Основной особенностью производства электрической энергии является отсутствие складов продукции.

В любом производстве продукция, производимая предприятиями, поступает сперва на склад, из которого по мере надобности берется для потребления. Колебания потребления покрываются складом, который в случае превышения потребления над производством покрывает излишки потребления за счет имеющихся запасов, в случае же превышения производства принимает избытки его на себя. Кратковременные перерывы в производстве благодаря этому не сказываются на потреблении, и производство может быть запланировано даже таким образом, чтобы допускать полную остановку предприятий для ремонтов и т. п.

Характер производственного процесса получается при наличии складов равномерным, что позволяет наиболее полно и экономично использовать как оборудование, так и рабочую силу.

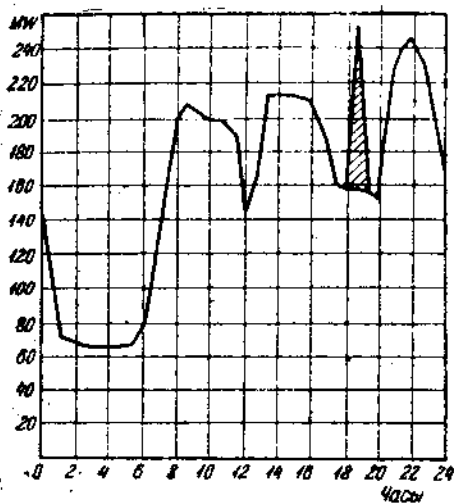
Наоборот, электрическая энергия как продукт не располагает никакими складами, и поэтому количество выработанной электрической энергии в каждый момент времени должно точно соответствовать количеству потребленной электрической энергии.

Электрические аккумуляторы (играющие роль склада) при большой мощности представляют собой чрезвычайно дорогие и требующие большого эксплуатационного обслуживания установки. Сооружение гидравлических аккумуляторов возможно только при наличии соответствующих условий и также обходится очень дорого. Поэтому нужно считать, что в процессе производства электрической энергии применение аккумулирующих установок практически существенного значения иметь не может.

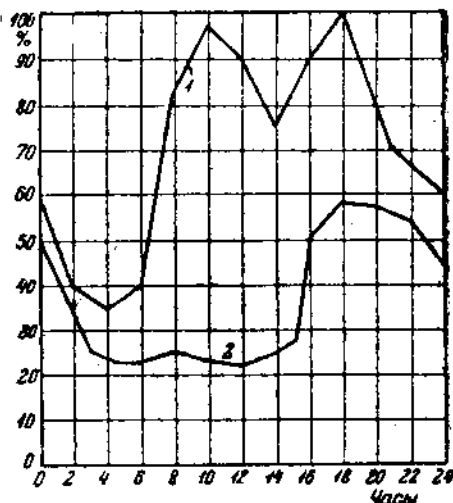
Необходимость в любой момент времени полностью покрывать существующее потребление электрической энергии прежде всего значительно повышает требование к надежности производства. В энергетической системе должен всегда существовать резерв, который при повреждении и выбытии из строя генераторов, линий и трансформаторов мог бы принять на себя соответствующие функции по производству или распределению электрической энергии. Размещение этого резерва таким образом, чтобы, с одной стороны, этот резерв был минимальным по своей величине, а с другой стороны, обеспечивал бы все точки энергосистемы, является в современных больших энергосистемах важнейшей задачей.

Отсутствие складов-регуляторов вызывает беспокойный процесс производства электрической энергии. Так как количество произведенной электрической энергии всегда должно соответствовать количеству потребленной энергии, то производство должно следовать за

всеми колебаниями потребления. В зависимости от времени суток нагрузка электрических станций системы испытывает колебания в пределах от 20 до 80% для энергосистем различного типа. Эти колебания могут иметь и внезапный характер. На фиг. 1 изображен суточный график нагрузки большой энергосистемы с внезапным пиком, вызванным увеличением осветительной нагрузки во время грозы. В системе Мосэнерго гроза вызывает внезапное возрастание нагрузки на 50–60 MW. В Берлине появление грозовой тучи вызывает пик нагрузки величиной около 100 MW. Резкие толчки нагрузки могут вызывать также и некоторые потребители, имеющие толчкообразный характер потребления. К таким потребителям принадлежат электрические железные дороги, электрические печи, прокатные станы и т. п.



Фиг. 1. Суточный график нагрузки энергосистемы. Заштрихован пик нагрузки во время грозы.



Фиг. 2. График нагрузки за предпраздничный (1) и праздничный (2) день.

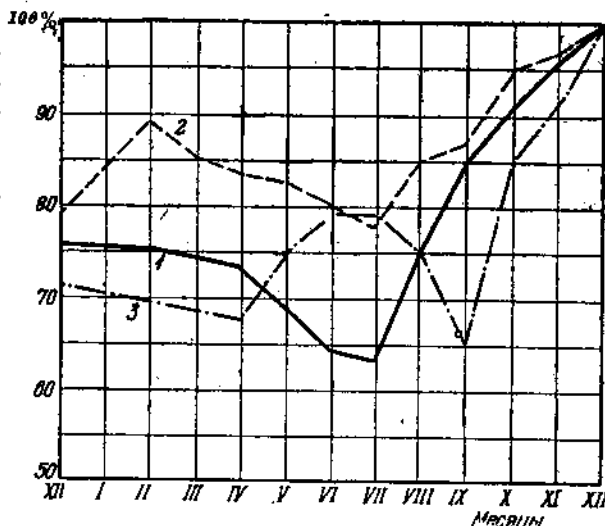
Колебания потребления электрической энергии имеют место не только в течение суток, но и в течение дня, недели и года. На фиг. 2 изображены графики нагрузки одной и той же энергосистемы за предпраздничный и праздничный дни. Графики нагрузки двух соседних рабочих дней также могут сильно отличаться друг от друга в зависимости от погоды, условий работы промышленных предприятий и т. п. Так, например, в системе Мосэнерго график нагрузки в пасмурный день идет выше графика нагрузки в светлый день на 30–40 MW, причем рост нагрузки к вечернему максимуму происходит на час раньше, чем в светлый день.

На фиг. 3 изображен ряд графиков, показывающих изменение максимальных нагрузок нескольких энергосистем в течение года. График 1 дает изменение максимальных нагрузок для систем со значительной осветительной нагрузкой (участие в максимуме около 25–30%).

График 2 характерен для энергосистем с преимущественной промышленной нагрузкой и малым влиянием осветительной нагрузки. График 3 характерен для энергосистемы с явно выраженной сезонной нагрузкой.

Колебания нагрузки вызывают необходимость непрерывного регулирования станций. Колеблющийся график нагрузок ухудшает использование машин и затрудняет возможность их постоянной нагрузки при наиболее экономичном режиме. Возможность внезапного возрастания нагрузки и необходимость покрытия этой нагрузки мощностью включенных машин заставляют держать готовый к действию резерв. Мощность станций энергосистемы, рассчитанная на удовлетворение максимального спроса на электрическую энергию, остается недоиспользованной в периоды пониженного спроса и частично должна выводиться в резерв.

Эти обстоятельства делают особенно важным тщательное планирование работы энергосистемы. Основной задачей этого планирования является такое распределение нагрузок между отдельными станциями



Фиг. 3. Изменение максимальных нагрузок в течение года.

и такое планирование пуска и останова отдельных машин, которое позволяло бы в любой момент времени удовлетворить спрос в электрической энергии со стороны потребителей, обеспечивало бы наиболее экономичный режим работы отдельных агрегатов и наиболее полное использование их мощности при наличии в то же время достаточного резерва во всех точках энергосистемы и позволяло бы провести ремонтные остановки оборудования. Выполнение всех этих требований представляет собой весьма сложную задачу, особенно если учесть большую территориальную протяженность современных энергосистем и многообразие условий работы силовых установок.

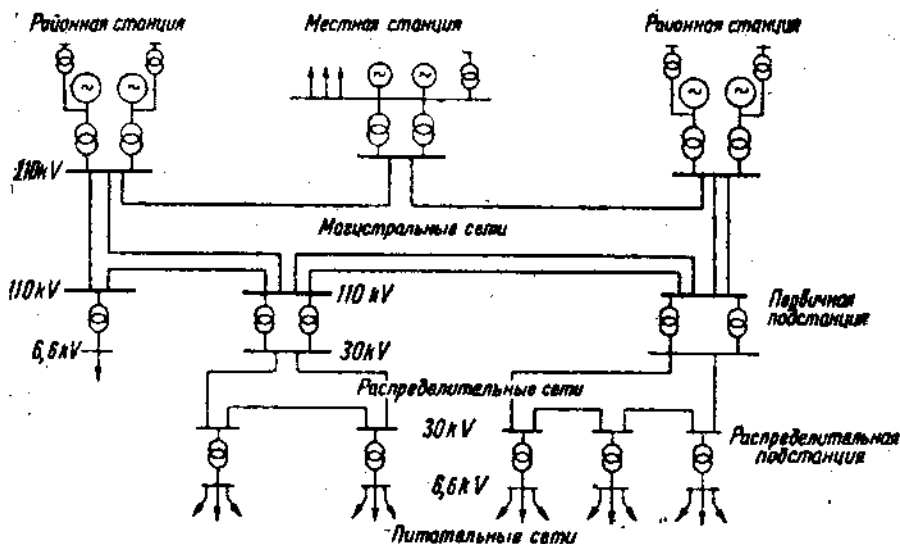
Колебания потребления электрической энергии вызывают колебания ее качественных параметров: частоты и напряжения. При повышении потребления частота и напряжение имеют тенденцию понижаться, при понижении же потребления они повышаются. Это делает необходимым вместе с регулированием нагрузки регулировать также частоту и напряжение электрического тока в энергосистеме. К требованиям экономичности и надежности энергоснабжения добавляется

требование к качеству продукции энергоснабжающих предприятий.

В производственном отношении энергетические системы представляют собой объединение большого числа предприятий, во многих случаях совершенно различных как по своему оборудованию, так и по характеру производства. Основными двумя группами предприятий, резко отличающихся характером своей работы, являются:

- 1) станции, генерирующие электрическую энергию;
- 2) подстанции и сети, распределяющие ее.

Общая схема электроснабжения потребителей в энергосистеме приведена на фиг. 4. Электрическая энергия, вырабатываемая на электростанциях, поступает через повысительные трансформаторы в основ-



Фиг. 4. Принципиальная схема энергосистемы.

ную сеть высокого напряжения. Эта сеть, имеющая наиболее высокое напряжение в энергосистеме, а также все участки сетей более низкого напряжения, через которые электростанции, играющие значительную роль в энергобалансе системы, могут передавать основную массу выработанной ими электрической энергии, носят название магистральных сетей.

От магистральной сети электрическая энергия, проходя через понизительные подстанции, направляется к отдельным крупным потребителям или в сети более низкого напряжения, распределяющие электрическую энергию в пределах отдельных районов или внутри крупных городов. Эти сети называются распределительными сетями. Подстанции, передающие электрическую энергию из магистральных сетей в распределительные сети, называются подстанциями магистральных сетей или первичными. Из распределительных сетей электрическая энергия, проходя вторично через понижающие подстанции, попадает в сети, непосредственно

питающие подстанции потребителей. Эти сети носят название питательных сетей. Подстанции, понижающие напряжение электрической энергии при переходе ее из распределительных сетей в питательные сети, носят название распределительных подстанций. Подстанции питательной сети, понижающие напряжение электрической энергии до напряжения потребителей, носят название питательных или потребительских подстанций.

Сети энергосистем имеют различную конфигурацию в зависимости от размеров обслуживаемой территории, расположения потребителей и расположения электрических станций. Местоположение станций определяется как географическим расположением местных энергетических ресурсов района, так и условиями наиболее целесообразной схемы питания потребителей, условиями снабжения привозным топливом и т. п.

3. Диспетчерское управление энергосистемами

Как было установлено выше, режим работы энергетических систем имеет следующие основные особенности:

а) колеблющийся характер производства с возможными внезапными пиками нагрузок;

б) большая взаимозависимость в работе отдельных частей энергосистемы;

в) разнообразный характер установок, работающих в энергосистеме, и разнообразные условия регулирования их;

г) повышенные требования к надежности и необходимость наличия резерва во всех точках энергосистемы.

При наличии этих особенностей и значительной территориальной протяженности энергосистемы совместная работа ее отдельных элементов требует наличия централизованного управления, координирующего и контролирующего работу отдельных частей энергосистемы. Централизованное управление необходимо также и с точки зрения планирования работы энергосистемы в целях достижения наибольшего экономического эффекта ее работы. Наиболее экономичное распределение нагрузок между отдельными станциями требует учета всей совокупности условий совместной их работы, а также условий передачи и распределения энергии в сетях энергосистемы. С достаточной полнотой эти условия могут быть учтены только при наличии централизованного планирования работы системы. Непрерывность в работе энергосистемы сделала необходимым создание в системе центрального дежурного пункта с непрерывным дежурством персонала, осуществляющего централизованное руководство работой энергосистемы. По аналогии с централизованным управлением на железнодорожном транспорте такой способ управления получил название диспетчерской системы управления; пункт, в котором находятся дежурные, — наименование диспетчерского пункта, а самые дежурные — наименование дежурных диспетчеров.

Диспетчерское управление является в настоящее время неотъемлемым элементом управления энергосистемы, обеспечивающим ее нормальную работу. Перебои в работе диспетчерского управления, нарушая оперативную связь между отдельными частями энергосистемы, отзываются на работе ее не менее болезненно, чем перебои в работе самих энергоустановок.

Особенно большое значение диспетчерское управление имеет в аварийных условиях, когда согласованное действие отдельных частей энергосистемы особенно важно.

Впервые диспетчерские методы управления энергосистемами были применены в Америке, где энергосистемы начали возникать раньше, чем в других странах. Затем методы диспетчерского управления проникли в Европу и в СССР, где первый диспетчерский пункт был организован в Мосэнерго в 1926 г.

Основные функции диспетчерского управления заключаются в следующем¹:

а) Распределение нагрузок между основными районными станциями энергосистемы и местными станциями в соответствии с производственными программами, требованиями экономичности и надежности, исправным состоянием оборудования и наличием запасов топлива или воды (на гидравлических станциях).

б) Руководство дежурным персоналом электростанций и сетей в отношении их действий по регулированию частоты и напряжения и распределению активной и реактивной мощности.

в) Руководство переключениями в сети и на станциях для вывода оборудования в ремонт, проведения испытаний, установления новых рабочих схем и режимов и ввода вновь установленного оборудования или оборудования, включаемого после ремонта.

г) Руководство выводом из эксплуатации оборудования электростанций и сетей для планово-капитального ремонта и текущих ремонтов, учет выполнения календарных планов ремонтов и увязка этих ремонтов с производственными программами.

д) Оперативное руководство ликвидацией аварий.

е) Составление необходимого вспомогательного и отчетного материала как для работы дежурного персонала диспетчерской службы, так и для отчетных органов.

В ряде энергосистем к этим функциям добавляется еще ряд обязанностей, например, наблюдение за работой и установками защитных реле, наблюдение за выпавшими дождевыми осадками или за глубиной снегового покрова у гидростанций и т. п. В ряде энергосистем, наоборот, функции диспетчера суживаются. Так, например, в некоторых из американских энергосистем диспетчер не следит за распределением нагрузок между станциями, а это лежит на обязанности самих станций. В ряде энергосистем на диспетчера возлагаются только обязанности по ликвидации аварий, функции же распределения нагрузки между станциями осуществляются техническими бюро. В неко-

¹ «Проект положения по оперативному управлению работой энергосистемы Главэнерго».

торых энергосистемах одновременно дежурные диспетчеры выполняют различные функции, например, часть контролирует нагрузку станций, а другая часть — электрическую схему системы.

Диспетчерская служба осуществляет обычно только повседневное оперативное управление энергосистемой. Планирование работы станций энергосистемы и установление режимов работы сети производится специальными отделами (так называемыми группами режимов) районного управления или энергокомбината. От групп режимов диспетчерская служба получает все материалы и руководящие указания, необходимые для повседневной работы энергосистемы.

От станций и сетевых районов диспетчерская служба получает ежедневные данные о режимах работы системы, о состоянии основного оборудования, о наличии топлива на тепловых станциях, наличии воды на гидравлических станциях и т. п.

В свою очередь диспетчер во время своего дежурства составляет отчетных материалов, характеризующих работу энергосистемы за время его дежурства и фиксирующих его собственную работу. К отчетным материалам принадлежат графики нагрузки отдельных станций и суммарный график нагрузки энергосистемы в целом, графики напряжений в отдельных точках энергосистемы, отчеты об авариях, имевших место в энергосистеме, и описание их ликвидации, запись всех переключений, произведенных во время дежурства, запись всех телефонных переговоров и т. п. В некоторых энергосистемах к этому прибавляются сведения: о погоде, глубине снежного покрова у отдельных станций, количестве выпавших дождевых осадков, температуре и влажности воздуха, количестве использованной и прошедшей неиспользованной воды, ее запаса в различных бассейнах, расходе топлива, полной выработке электрической энергии, расходе топлива на 1 kWh и т. п.

Отчет диспетчера в некоторых системах имеет объем до десятка страниц и содержит в себе достаточно подробный анализ работы системы за истекшие сутки. В других системах, наоборот, диспетчер ограничивается минимальными отчетными сведениями, все же сведения, необходимые для анализа работы энергосистемы, собираются техническим бюро.

В оперативном отношении диспетчерской службе подчиняются все электроустановки, входящие в состав энергосистем. Этими установками являются следующие:

- а) все районные электростанции и те из местных станций, которые по своим размерам или условиям работы имеют значение для работы энергосистемы;
- б) все магистральные сети и магистральные подстанции;
- в) распределительные сети и подстанции, в случае если через эти сети происходит параллельная работа с другими находящимися в ведении диспетчерской службы.

Количество одновременно дежурящих диспетчеров зависит от размеров энергосистемы и от объема ее обязанностей, которые возлагаются на них. В некоторых энергосистемах число одновременно дежурящих диспетчеров достигает до семи человек.

Руководство работой энергосистемы дежурный диспетчер и его помощник осуществляют через дежурный персонал станций и подстанций, который во время дежурства находится в непосредственном подчинении у дежурного диспетчера и его помощника.

Сложность работы энергосистемы и возможность учета всех условий ее работы только из центра ставят диспетчера в положение единственного оперативного руководителя энергосистемы, в руках которого сосредоточиваются все сведения, необходимые для принятия наиболее правильных решений.

Непосредственное руководство всем дежурным персоналом станций и подстанций уже при средних размерах энергосистемы становится диспетчеру не под силу. Это в то же время является и нецелесообразным, так как обеспечить диспетчера надежной связью с каждой из подстанций сети трудно.

В административно-хозяйственном отношении сеть энергосистемы делится обычно на ряд районов, осуществляющих эксплуатационное обслуживание и хозяйственное руководство определенными частями сети. В отношении оперативного руководства управление районом обычно централизуется, причем все подстанции района подчиняются специально назначенному дежурному по району. Выделение дежурных по району разгружает диспетчера от необходимости связываться с каждой из подстанций района в отдельности. В случае необходимости он отдает распоряжения, относящиеся к подстанциям или сетям района, дежурному по району, который самостоятельно, связываясь с дежурными по подстанциям, проводит их в жизнь.

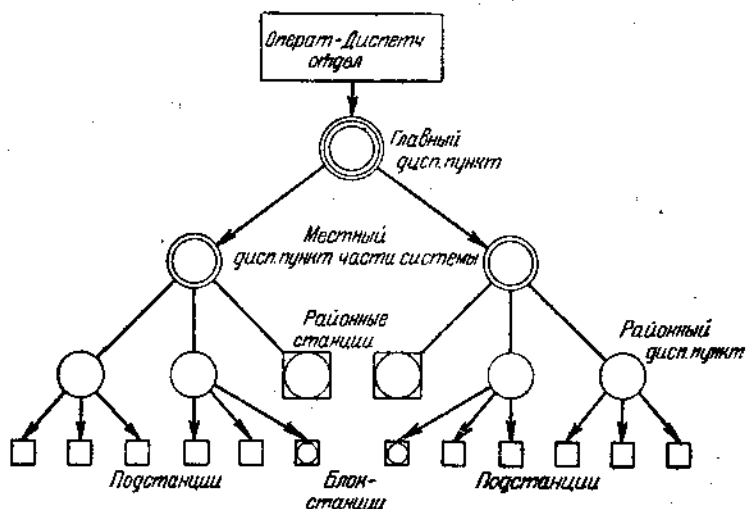
Дежурному по району подчиняются также и находящиеся в пределах района местные станции, в том случае, если эти станции имеют только местное значение. При наличии такой станции дежурный по району контролирует ее работу самостоятельно в пределах указаний, полученных от диспетчера.

Дежурный по району занимает по отношению к дежурным по подстанциям в оперативном отношении такое же место, как дежурный инженер по станции к дежурным по отдельным цехам станции (машинному залу, котельной, распределительному устройству и т. п.). Оперативное управление сетью через дежурных по району выгодно еще и тем, что в этом случае нет необходимости устраивать телефонную связь диспетчера с каждой из подстанций сети.

Однако основная причина такой простейшей децентрализации сводится к тому, что вторичные и распределительные сети, не влияя заметно на режим энергосистемы в целом и, следовательно, излишне загружая диспетчера при централизованном руководстве, нуждаются в то же время в определенной координации своих режимов в пределах района. Эту работу дежурный по району выполняет самостоятельно без руководства диспетчера.

В случае большой протяженности энергосистемы и трудности обеспечения хорошей связи всех районных дежурных пунктов станций и подстанций с центральным диспетчерским пунктом диспетчерское управление энергосистемой целесообразно разделить. В этом случае в крупных частях энергосистемы создаются местные диспетчерские

пункты, которым подчиняются по несколько районных диспетчерских пунктов и станций. Руководство работой этих местных диспетчерских пунктов и общее руководство работой системы производится главным диспетчерским пунктом энергосистемы. При этом оперативное руководство энергосистемой осуществляется местными диспетчерскими пунктами частей системы, главный же диспетчерский пункт иногда имеет свою выделенную часть системы, но в основном занимается со-



Фиг. 5. Организационная схема диспетчерского управления.

гласованием работы участковых диспетчерских пунктов и общими указаниями этим пунктам в отношении режимов работы станций и сетей, беря на себя непосредственное оперативное руководство персоналом станций и подстанций только в случае больших аварий, затрагивающих всю систему.

На фиг. 5 изображена организационная схема диспетчерского управления для большой энергосистемы. Эта схема иллюстрирует изложенные выше принципы организационного построения диспетчерского управления.

ГЛАВА II

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

4. Телемеханизация диспетчерского управления в энергосистемах

Работа диспетчера большой энергосистемы является весьма сложной и предъявляет большие требования к личным качествам диспетчера. Диспетчер должен хорошо знать все оборудование станций, подстанций и сетей энергосистемы, экономичность машин и котлов основных станций, регулировочные возможности станций и т. п. Он должен хо-

рошо знать основные коммутационные схемы станций и подстанций, установки защиты, пропускную способность трансформаторов и линий и т. д. Он должен хорошо знать также, какие машины и котлы находятся в работе в данный момент на каждой из станций, какие машины и котлы находятся в резерве, какие линии и трансформаторы включены в сети, как установлена защита и т. п. При этом все эти сведения он должен держать в голове, с тем чтобы во время ликвидации аварий, когда требуются быстрые и решительные действия, не терять времени на разыскивание этих сведений в справочных материалах.

Уже при средних размерах энергосистемы работа диспетчера без специального вспомогательного оборудования становится весьма затруднительной. Обычное средство связи диспетчера — телефон — здесь становится уже совершенно недостаточным.

Получение диспетчером всех сведений, необходимых ему для руководства энергосистемой: сведений об автоматических отключениях в сети, о нагрузках основных станций и линий и т. д., по телефону не обеспечивает той быстроты, которая необходима в работе энергосистемы. Во многих случаях собирание этих сведений занимает такое количество времени, что диспетчер в значительной степени лишается оперативности в своей работе.

Так, например, одна из наиболее важных функций диспетчера: наблюдение за распределением нагрузки между станциями и контроль выполнения заданных им графиков нагрузки, при наличии только телефона осуществляется путем запроса по телефону через определенные промежутки времени нагрузок станций и затем суммирования их для получения общей нагрузки сети. Эта процедура занимает довольно большое количество времени. Так, например, при наличии в энергосистеме 10 станций собирание сведений о нагрузке их займет приблизительно 20—25 мин., считая на вызов и опрос каждой станции 2—2,5 мин. Только по истечении этого срока диспетчер может узнать суммарную нагрузку энергосистемы. Поэтому при наличии только телефонной связи он не может своевременно видеть тенденцию в изменении нагрузки. Заблаговременные мероприятия для покрытия неожиданного возрастания или спадания нагрузки, пуски и остановки машин и т. п., делаются в основном на основании графиков предыдущих дней и данных об изменении нагрузки ведущей по частоте станции, недостаточно характеризующими общую картину. Естественно, что в этих условиях надежность и экономичность работы энергосистемы уменьшаются.

Другой основной функцией диспетчера является ликвидация аварий, происходящих в системе. При наличии у диспетчера только телефонной связи все сведения об аварийных отключениях передаются ему по телефону. В больших энергосистемах, как показывает практика, собирание сведений об отключениях при аварии занимает от 2 до 8 мин. Фактически только после этого срока диспетчер может приступить к ликвидации аварий. В условиях работы большой энергосистемы такая задержка при ликвидации аварий безусловно недопустима как ввиду ущерба потребителей от затягивающегося простоя, так и вследствие увеличения вероятности развития аварии.

Телефон в условиях работы энергосистемы является также и недостаточно надежным средством связи, поскольку в ней участвует дежурный персонал станций и подстанций. В нормальное время обязанности этого персонала заключаются, главным образом, в записывании через определенные промежутки времени показаний измерительных приборов и общем наблюдении за работой установки. Эта работа мало загружает время дежурного персонала (особенно на подстанциях) и не требует от него почти никакого сосредоточения ума и воли. В момент аварии дежурный персонал должен очень быстро перейти от этого бездеятельного состояния к быстрому и энергичным действиям по ликвидации аварии. Он должен в течение минимального срока охватить происшедшие во время аварии выключение, быстро предпринять необходимые неотложные мероприятия и сообщить о случившемся диспетчеру.

Для человека, находящегося в обычное время в ненапряженных условиях работы, такой переход труден. Во многих случаях, кроме того, авария сопровождается рядом эффектов, воздействующих на психику человека (взрывы, пожары, несчастные случаи с людьми) или даже угрожающих опасностью для его жизни. Эти условия вызывают ошибки и неточности в телефонных сообщениях дежурного персонала диспетчеру, которые влекут за собой ошибочные действия диспетчера и развитие аварии.

Эти обстоятельства заставили с самого начала возникновения диспетчерских пунктов задуматься над созданием такой аппаратуры, которая облегчила бы работу диспетчера и сделала его менее зависимым от ошибок дежурного персонала.

Вначале это была аппаратура, которая позволяла диспетчеру только фиксировать получаемые им сведения о положении основных коммутационных аппаратов в сети, пуске или остановке машин, установках защиты и т. п. Вскоре, однако, в связи с дальнейшим ростом энергосистем и повышением требований к скорости и надежности работы диспетчеров в диспетчерских пунктах стала применяться аппаратура, автоматически контролирующая состояние управляемой диспетчером сети, передающая ему сигналы о переключениях, происходящих в сети и показания основных приборов, а также позволяющая производить управление аппаратами, установленными на станциях и подстанциях, непосредственно из диспетчерского пункта. Эта аппаратура получила название телемеханической аппаратуры (телемеханическая означает действующая на расстоянии).

Телемеханическая аппаратура очень быстро получила широкое распространение и за границей составляет в настоящее время неотъемлемую часть оборудования диспетчерских пунктов. В СССР телемеханическая аппаратура еще только начинает внедряться в заводское производство, и применение ее незначительно.

К телемеханической аппаратуре, применяемой в диспетчерских пунктах, относятся следующие устройства:

- а) устройства телеуправления и телесигнализации с диспетчерскими сигнальными щитами;
- б) устройства телеизмерения и суммирования;
- в) устройства телерегулирования.

Устройства телеуправления и телесигнализации автоматически передают в диспетчерский пункт в течение нескольких секунд сигналы о переключениях, происходящих на подстанциях и станциях. Кроме того, эти устройства позволяют диспетчеру управлять аппаратами, расположенными на станциях и подстанциях, непосредственно из диспетчерского пункта.

Сигналы, поступающие со станций и подстанций, передаются на диспетчерский сигнальный щит. Этот щит представляет собой доску, на которой нанесена однолинейная схема управляемой данным диспетчерским пунктом сети. При помощи сигнальных лампочек, механических индикаторов или освещения частей схемы (выполненной из прозрачного материала) на ней сигнализируется положение всех основных коммутационных аппаратов сети. На диспетчерском щите диспетчер может видеть таким образом в любой момент существующую схему сети с указанием включенных машин, трансформаторов, линий и т. п. На американских и английских диспетчерских пунктах часто сигнализация поступает на отдельные сигнальные щиты, а положение индикаторов на схеме переставляется диспетчером от руки или электрическим путем — телефонными ключами.

Устройства телеизмерения и суммирования передают в диспетчерский пункт измерения основных величин (нагрузок машин и линий, напряжения и т. п.), необходимых диспетчеру для руководства системой, и производят автоматически суммирование нагрузок отдельных станций в диспетчерском пункте. При помощи этих устройств диспетчер получает возможность все время следить за нагрузкой отдельных станций и в то же время иметь в любой момент показания суммарной нагрузки всей энергосистемы в целом.

Устройства телерегулирования позволяют автоматически регулировать нагрузку станций, поддерживая ее постоянной, изменяя ее по определенному графику или регулируя в зависимости от нагрузки определенного пункта в сети.

Применение телемеханики коренным образом изменяет работу диспетчера, позволяя вводить новые методы работы и превращая диспетчера в действительного оперативного руководителя энергосистемы. Рассмотрим этот вопрос несколько подробнее, проанализировав выполнение диспетчером основных его функций при отсутствии и наличии устройств телемеханики.

5. Распределение активной нагрузки между станциями

При распределении активной нагрузки между отдельными станциями энергосистемы должны быть выполнены следующие основные требования:

а) нагрузка между станциями должна быть распределена таким образом, чтобы получилось наиболее экономичное использование станций и чтобы суммарная стоимость киловаттчаса была наименьшей;

б) находящиеся в работе машины и котлы должны быть расположены в сети энергосистемы и загружены так, чтобы обеспечивать во всех точках энергосистемы нормальные условия работы потребите-

лей, минимальные потери при передаче электрической энергии, достаточный резерв и удовлетворить, кроме того, условиям устойчивости параллельной работы.

Свободу в отношении назначения графика нагрузки, если отвлечься от топливных запасов, допускают только паровые станции с конденсационными турбинами. Этим станциям в пределах их максимальной мощности может быть дан любой целесообразный график нагрузки.

Гидравлические станции в период половодья и гидравлические станции, не имеющие суточного регулирования, должны загружаться настолько, чтобы имеющийся расход воды в пределах мощности станции был использован полностью. В период маловодья гидравлические станции могут быть использованы по-разному. Если энергосистема не испытывает недостатка в мощности, то гидравлической станции может быть дан ровный график с нагрузкой, соответствующей среднему напору и расходу воды. Если же мощности машин остальных станций не хватает для покрытия пиков нагрузки и гидравлическая станция должна участвовать в покрытии наравне с остальными станциями, то прибегают к суточному регулированию водотока. Характер графика нагрузки гидростанции определяется при этом необходимой нагрузкой во время пика, емкостью регулировочного водоема и соображениями экономичности.

График нагрузки теплоэлектроцентралей в основном определяется тепловым графиком.

Помимо этих причин, связанных с регулировочной способностью самих станций, могут быть также причины и внешнего порядка, ограничивающие график нагрузки станции. Так, например, график нагрузки станции может быть ограничен недостаточной пропускной способностью трансформаторов или линий, связывающих станцию с остальной сетью. Свободу графика может ограничивать необходимость выработки станцией определенной реактивной мощности. Ограничения графика могут вызываться также недопустимостью кратковременной остановки крупных турбин, поскольку остановки и последующие пуски отзываются на их долговечности и т. п.

Таким образом целый ряд станций в энергосистеме может иметь принужденный график нагрузки. Если сложить принужденные графики нагрузки и вычесть их из суммарного графика нагрузки энергосистемы, то останется та часть, которая покрывается станциями со свободными графиками нагрузки.

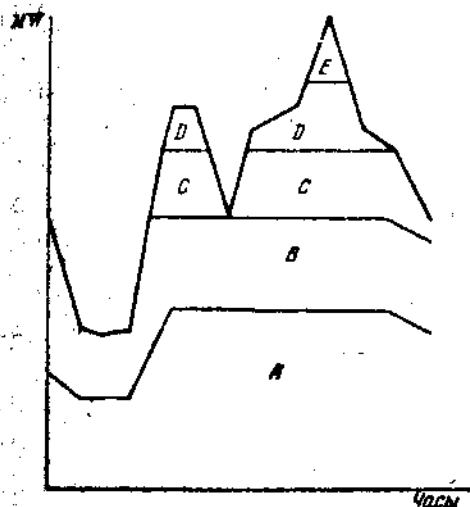
Распределение нагрузки между этими станциями может осуществляться следующими способами:

- a) по расписанию;
- b) по суммарному графику;
- c) по интегральному отклонению частоты.

Распределение нагрузки по расписанию заключается в том, что всем станциям даются определенные графики нагрузки (фиг. 6), указывающие, в какие часы суток, какую нагрузку должны вырабатывать эти станции. Часть станций, имеющих наиболее экономичные машины, стремятся загружать в течение большего времени суток, другую же часть, имеющую менее экономичные машины, загружают

только в часы пик. Первые станции мы в дальнейшем будем называть плановыми станциями, а вторые — пиковыми станциями. Так как график нагрузки энергосистемы предугадать с полной точностью нельзя, то одной из плановых или пиковых станций назначается только приблизительный график нагрузки и дается задание покрывать все непредвиденные изменения и внезапные пики нагрузки.

Для выполнения этого задания станция должна одновременно заботиться о поддержании нормальной частоты в системе. Поэтому мы будем называть ее ведущей (по частоте) станцией. В качестве ведущей



Фиг. 6. Распределение нагрузки по расписанию.

А и В — плановые станции; С, D и E — пиковые станции.

марного графика нагрузки (фиг. 7). Величина этой доли устанавливается в зависимости от экономичности машин станции, запасов топлива и ряда других причин, о которых говорилось выше. Обычно станциям в этом случае сообщаются предварительные графики нагрузки, определяющие приблизительно величину нагрузки в течение суток. Точно же эта нагрузка устанавливается в зависимости от величины суммарной нагрузки энергосистемы, сведения о которой непрерывно сообщаются станциям.

Способ регулирования нагрузки по суммарному графику является, вообще говоря, более совершенным, чем способ регулирования по расписанию. Этот способ, позволяя распределять колебания нагрузки между значительной частью энергосистемы, дает возможность ближе подойти к теоретически наиболее выгодному распределению нагрузки. С другой стороны, применение этого способа значительно облегчает работу ведущей по частоте станции, которой в этом случае приходится принимать на себя не полностью все неожиданные изменения нагрузки, а только часть их.

станции выбирается обычно одна из мощных станций энергосистемы, поскольку непредвиденные изменения и толчки нагрузки могут иметь значительную величину. Как показывает практика эксплуатации, внезапные изменения нагрузки могут составлять 5—10% от максимальной нагрузки энергосистемы. В больших энергосистемах с нагрузкой в 500—1 000 MW величина внезапного изменения нагрузки может составлять 50—100 MW. Покрытие такого толчка нагрузки даже для мощной станции становится затруднительным.

Способ регулирования нагрузки по суммарному графику заключается в том, что ряду станций дается задание покрывать определенную долю сум-

Практически применение этого способа распределения нагрузок между станциями не исключает возможность работы некоторых, наиболее экономичных станций по заданному твердому графику, с тем, что ряд других мощных станций получает задание нести нагрузку в определенной пропорции от суммарной. Наконец, возможно вводить пропорциональный график лишь в часы крутых ростов и спадов нагрузки системы.

Во всех случаях задача сводится к облегчению роли ведущей станции и распределению ее функций между несколькими станциями.

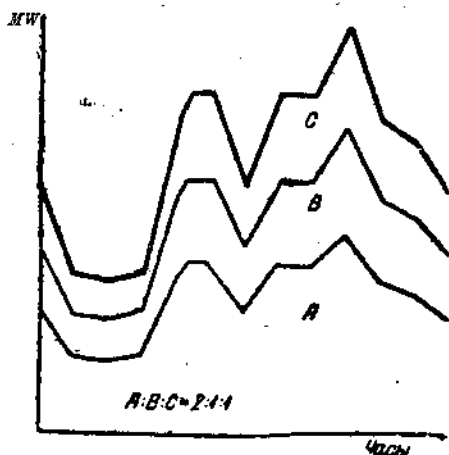
Однако этот способ предъявляет особые требования к измерению нагрузки в энергосистеме, и здесь мы встречаемся с первым случаем необходимости применения устройства телемеханики.

Применение способа распределения нагрузки по суммарному графику при наличии у диспетчера только телефона неосуществимо, так как станции смогут получать сведения о суммарной нагрузке только по истечении весьма значительного промежутка времени, после того как эта нагрузка имела место. Как уже говорилось выше, это время в больших энергосистемах может составлять 25—30 мин.

Помимо этого при наличии только телефонной связи точно величину суммарной нагрузки получить нельзя, так как записывание нагрузки отдельных машин производится дежурным персоналом не одновременно, а занимает некоторый промежуток времени. Поэтому, при суммировании этих записей получается не мгновенная суммарная нагрузка энергосистемы, а некоторая средняя величина этой нагрузки за определенный промежуток времени. Естественно, кроме того, что производить определение суммарной нагрузки так часто, как это требует распределение нагрузки по суммарному графику, нельзя, так как это будет сильно загружать дежурный персонал станции.

Способ распределения нагрузки по суммарному графику требует поэтому применения методов автоматического суммирования нагрузки.

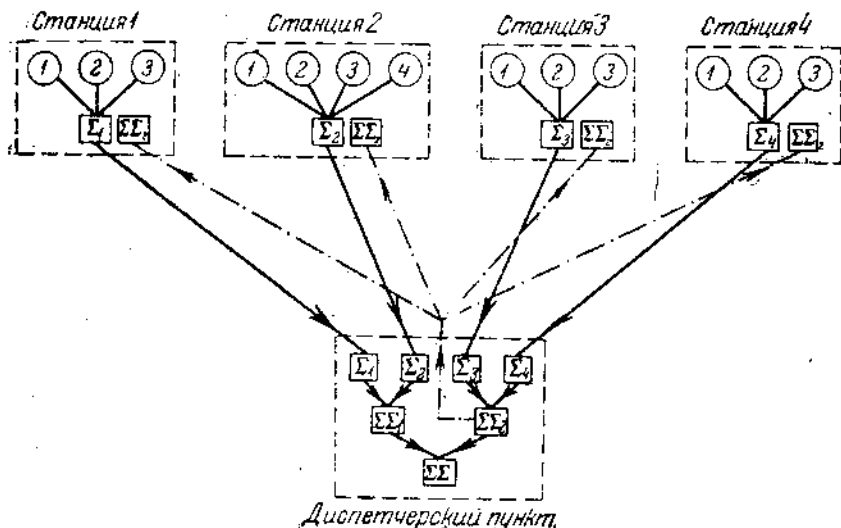
Принципиальная схема такого суммирования приведена на фиг. 8. Нагрузка отдельных машин станции суммируется при помощи приборов автоматического суммирования внутри станции и передается при помощи приборов телеизмерения по линии связи в диспетчерский пункт. Одновременно величина суммарной нагрузки может указываться на самой станции в одном или в нескольких местах (на щите, у дежурного инженера, в котельной, в машинном зале и т. д.). В диспетчерском пункте полученные суммарные нагрузки отдельных станций снова



Фиг. 7. Распределение нагрузки по суммарному графику.

суммируются при помощи приборов автоматического суммирования и образуют суммарную нагрузку энергосистемы. При этом суммирование может производиться в различных комбинациях, и помимо общей суммарной нагрузки в диспетчерском пункте может быть получена любая частичная сумма нагрузок некоторых избранных станций (получение такой частичной суммы необходимо в том случае, когда в энергосистеме имеются станции с принужденным графиком и распределение нагрузки производится по суммарному графику за вычетом нагрузки этих станций).

Полученная в диспетчерском пункте полная или частичная суммарная нагрузка передается обратно на станции, где она может указываться или в одном месте или в нескольких местах одновременно.



Фиг. 8. Принципиальная схема суммирования.

Диспетчер имеет возможность в диспетчерском пункте исказить величину суммарной нагрузки, передаваемой отдельной станции или всем станциям сразу, и таким образом сообщить этим станциям ложную нагрузку. Это бывает необходимо в тех случаях, когда по каким-либо причинам, например, вследствие выбытия из строя какой-либо станции или части машин, нужно заставить остальные станции нести другую нагрузку, чем им предписано по доле участия их в суммарном графике.

При распределении нагрузки по отклонению частоты руководствуются величиной интеграла отклонения частоты по времени. Как будет показано в главе о регулировании частоты и нагрузки в больших сетях, эта величина может служить мерилем нагрузки, которую должна вырабатывать данная станция, в зависимости от величины суммарной нагрузки для поддержания в сети нормальной частоты.

Для определения величины интегрального отклонения частоты по времени служат специальные приборы — так называемые контроль-

ные часы «частоты». В этих приборах частота сети сравнивается с астрономическим временем, служащим в качестве эталона нормальной частоты¹. Такие контрольные часы устанавливаются на всех станциях, регулирующих свою нагрузку по интегральному отклонению частоты. Так же как и в случае распределения нагрузки по суммарному графику, станциям в этом случае даются только приблизительные графики нагрузки, фактическая нагрузка устанавливается в зависимости от интегрального отклонения частоты.

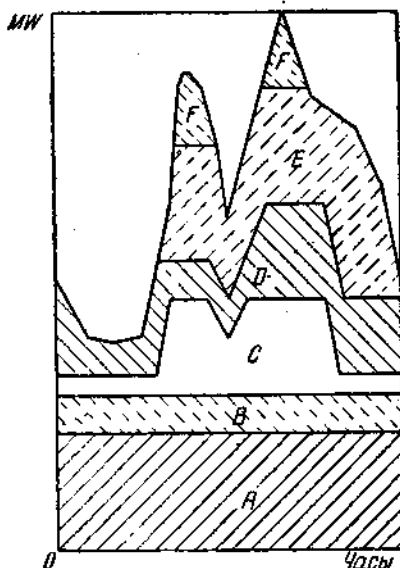
При применении способа распределения по интегральному отклонению частоты необходимо периодически контролировать правильность хода астрономических часов и синхронизировать их ход друг с другом или же управлять ходом всех часов от одного маятника. Для этого целесообразно также применять средства телемеханики.

Перейдем теперь к рассмотрению работы диспетчера по распределению нагрузки между станциями.

На основании оперативных планов и учета дополнительных сведений диспетчер составляет предполагаемый суммарный график нагрузки энергосистемы и затем производит разбивку его по станциям (фиг. 9).

Полученные графики нагрузки отдельных станций сообщаются последним по телефону и служат им программой работы на следующий день (жесткие графики). Все возможные отклонения от намеченного суммарного графика ложатся в этом случае на станцию, ведущую по частоте (например, ночью гидростанция *D*, днем станция *E* или *F* — фиг. 9),

которой дается только ориентировочный график нагрузки. В случае распределения нагрузки по суммарному графику станциям даются приблизительные графики нагрузки и, кроме того, сообщается порядок их участия в покрытии суммарного графика нагрузки. Контроль диспетчера за выполнением станциями заданных им графиков нагрузки производится путем записи сведений о нагрузках станций в журнал и построения действительных графиков нагрузки станций, графиков включенной мощности (фиг. 10) и действительного суммарного графика нагрузки энергосистемы. Бланк суточных графиков служит основным отчетным материалом о работе диспетчера и в то же время основным

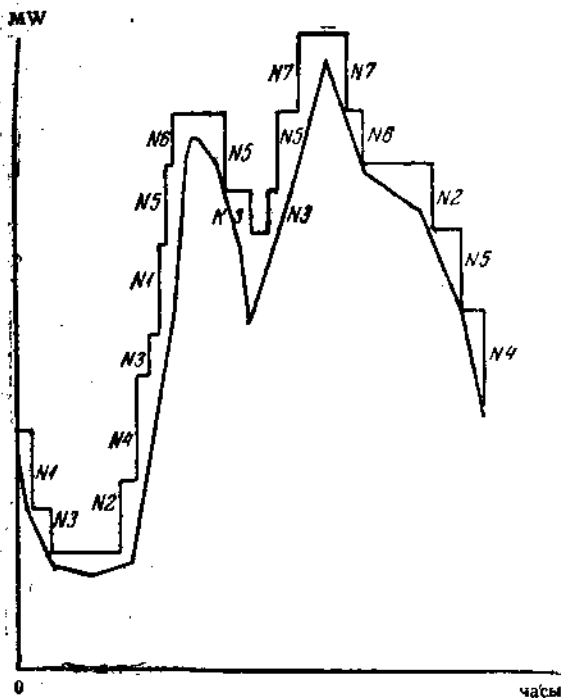


Фиг. 9. Разбивка суммарного графика нагрузки по станциям.

A — тепловая станция с наиболее экономичными машинами; *B* — гидростанция с нерегулируемым расходом; *C* — теплоэлектроцентральный с принужденным графиком; *D* — гидростанция с регулируемым расходом; *E* — тепловая плановая станция; *F* — пиковая станция.

¹ См. стр. 348.

материалом для управления станциями энергосистемы. Сравнение предполагаемого суммарного графика нагрузки энергосистемы с действительным указывает диспетчеру возможные тенденции роста или уменьшения нагрузки. Сравнение графика включенной мощности с графиком нагрузки говорит диспетчеру о наличии резерве и о необходимости включения новых машин или возможности остановки работающих и т. п. Поэтому своевременное нанесение действительных



Фиг. 10. Построение графика включенной мощности машин на графике нагрузки станции.

нагрузок станций и построение суммарного графика нагрузки являются весьма существенным.

Как уже указывалось выше при сообщении сведений о нагрузке станций по телефону, собирание этих сведений и построение суммарного графика нагрузки занимают очень много времени. Кроме того, такой способ контроля является в известной степени условным. Диспетчер может контролировать работу станций только периодически, в промежутке же между временем записи нагрузки он не знает нагрузки станций. При всех запросах о нагрузке он должен полагаться на добросовестность дежурного персонала стан-

ций, который при отклонениях нагрузки станции от заданной величины склонен всегда скрывать это.

Единственным способом обеспечения действительного контроля диспетчера за работой станций является применение аппаратуры автоматического суммирования и телеизмерения. В этом случае диспетчер получает возможность видеть нагрузку отдельных станций в любой момент на указательных приборах телеизмерительных установок непосредственно в диспетчерском пункте и, кроме того, иметь одновременно и суммарную нагрузку энергосистемы на указательном приборе суммирующей установки диспетчерского пункта. Применение аппаратуры телеизмерения и автоматического суммирования позволяет одновременно получать автоматически на отдельном указательном приборе и величину суммарного горячего резерва на включенных машинах в энергосистеме. Суммарная нагрузка отдельных станций и

суммарная нагрузка объединения могут автоматически записываться на регистрирующих приборах, избавляя диспетчера от необходимости вести построение суточных графиков нагрузки.

6. Регулирование частоты

Если записать на достаточно чувствительном регистрирующем частотомере частоту в сети большой энергосистемы, то полученная кривая покажет непрерывные колебания частоты. Эти колебания являются результатом изменения нагрузки и действия скоростных регуляторов турбин, которые имеют в большинстве случаев статическую характеристику, т. е. при изменении нагрузки машины соответственно изменяют число оборотов машин. Поэтому всякое остающееся изменение нагрузки сопровождается остающимся изменением частоты в сети, которое продолжается до тех пор, пока путем изменения характеристики регулятора, от руки или автоматически, частота не будет возвращена к нормальной (подробнее см. стр. 308).

Потребители обычно требуют поддержания частоты в пределах 0,3—0,5 Hz. Эти требования не являются особенно жесткими и могут быть удовлетворены в нормальных условиях работы энергосистемы без применения особых средств регулирования.

Гораздо более суровые требования к поддержанию частоты предъявляются со стороны самих энергосистем. Так как характеристики скоростных регуляторов на машинах отличаются друг от друга, то при изменении частоты в энергосистеме происходит автоматическое перераспределение нагрузок.

В больших энергосистемах такое перераспределение нагрузки, даже кратковременное, может быть весьма нежелательным. Особенно нежелательным это является в энергосистемах, которые имеют слабую связь между отдельными частями. В этих системах перераспределение нагрузки между отдельными станциями в моменты изменения частоты может вызвать перегрузку связей и разделение системы на части. Поэтому в современных больших энергосистемах отклонения частоты во время нормальной работы энергосистемы не допускается больше, чем на 0,1—0,2 Hz.

Поддержание частоты с такой точностью при ручном регулировании затруднительно и требует применения специальных автоматических регуляторов частоты.

Обычный способ регулирования частоты заключается в том, что в энергосистеме выделяется одна из станций, на которую возлагается обязанность поддерживать точную частоту и на которой для этой цели желательно устанавливать автоматические регуляторы частоты.

Поскольку в крупной энергосистеме для одной станции, даже мощной, покрывать эти колебания нагрузки будет затруднительно, возникает проблема разделения функции регулирования частоты на несколько станций, с тем чтобы ряд станций осуществлял регулирование так, чтобы покрывать колебания нагрузки только в определенной части энергосистемы. Разрешение этой задачи возможно только при применении средств телемеханики.

Перейдем теперь к рассмотрению обязанностей диспетчера по регулированию частоты. При нормальной работе энергосистемы эти обязанности очень несложны. Диспетчер должен назначать станцию, ведущую по частоте. В случае если обязанности по регулированию частоты переходят в течение суток с одной станции на другую, то диспетчер должен назначать время этого перехода, сообщая об этом станциям или по телефону или при помощи устройств телесигнализации.

В случае разделения энергосистемы в отношении покрытия колебаний нагрузки на части и наличия станций, регулирующих нагрузку соединительных линий, диспетчер назначает график нагрузки этих линий. В некоторых случаях целесообразно при помощи устройств телемеханики дать диспетчеру возможность диктовать график нагрузки этих линий или же изменять нагрузку их непосредственно из диспетчерского пункта.

Кроме того, в ряде случаев бывает необходимо дать телеизмерение нагрузки мест перехода в диспетчерский пункт, с тем чтобы диспетчер мог ее контролировать.

На обязанности диспетчера лежит, наконец, наблюдение за выполнением станциями возложенных на них задач по поддержанию нормальной частоты. Для этого в диспетчерском пункте устанавливается точный частотомер, по которому диспетчер следит за величиной частоты в сети.

Обязанности диспетчера по регулированию частоты во время аварий будут рассмотрены несколько ниже.

7. Распределение реактивной нагрузки между станциями и распределение активной и реактивной мощности в сети

Помимо потребления активной мощности станции энергосистемы должны покрывать также потребление и реактивной мощности потребителей. Распределение выработки реактивной мощности между станциями энергосистемы и подстанциями, имеющими компенсаторы реактивной мощности, имеет такое же значение, как и распределение активной мощности. Недостаток реактивной мощности в какой-либо точке энергосистемы вызывает понижение напряжения электрической энергии и ухудшает работу потребителей. В некоторых случаях недостаток реактивной мощности, вызывая увеличение передачи реактивной мощности, увеличивает падение напряжения в линиях электропередачи и потери в них, что может вызвать ухудшение условий параллельной работы электростанций и привести к выпадению их из синхронизма.

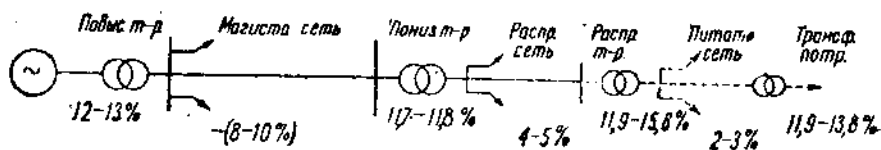
Распределение реактивной мощности между станциями и подстанциями производится так же, как и распределение активной мощности. На основании сведений о потреблении реактивной мощности составляется суммарный график, который затем разбивается по отдельным станциям и подстанциям. Распределение реактивной мощности имеет, однако, ряд особенностей.

Первой из этих особенностей является то, что выработка реактивной мощности требует весьма малой затраты топлива (только для по-

крытия потерь), и поэтому при распределении этой выработки между станциями вопросы экономичности производства электрической энергии на той или другой станции играют второстепенную роль.

Второй особенностью является то, что покрытие реактивной мощности отдельными станциями не является произвольным, а зависит от графика активной мощности и необходимого режима напряжения на шинах станции.

Третья особенность заключается в том, что суммарный график реактивной мощности определяется не только потреблением реактивной мощности абонентами, но в значительной степени зависит от распределения активной и реактивной нагрузки в сети энергосистемы. Это объясняется тем, что при передаче электрической энергии в отдельных элементах электропередачи (трансформаторах, реакторах, воздушных линиях), имеющих большое индуктивное сопротивление, происходят большие потери реактивной мощности. На фиг. 11 приведена принци-



Фиг. 11. Потери реактивной мощности в элементах электропередачи.

пиальная схема передачи электрической энергии, на которой нанесены величины потерь реактивной мощности в отдельных элементах сети. Эти потери подсчитаны по средним данным сопротивлений и загрузки отдельных элементов сети с учетом того, что нагрузка их увеличивается по мере приближения от потребителя к генерирующей установке.

Потери реактивной мощности в каком-либо из элементов электропередачи загружают дополнительной реактивной мощностью все предшествующие элементы и тем самым еще больше увеличивают потери. Поэтому суммарные потери реактивной мощности в больших сетях достигают 30—40% от выработки и имеют, таким образом, весьма существенное значение.

Наконец, четвертая особенность заключается в том, что распределение выработки реактивной мощности необходимо согласовывать самым тесным образом с вопросами регулирования напряжения, чтобы обеспечить в сети энергосистемы величины напряжения, приемлемые для работы потребителей.

Эти особенности весьма тесно связывают вопросы распределения реактивной мощности между станциями с общими вопросами режима работы сети энергосистемы.

Сведения, получаемые группой режимов от станций и диспетчерского пункта, бывают обычно недостаточными для разработки режимов работы энергосистемы. Поэтому в сети энергосистемы периодически раз в месяц или в два месяца организуются специальные замеры. Во время этих замеров во всех пунктах энергосистемы в одно и то же время замеряются нагрузки генераторов, трансформаторов и линий, величины токов, напряжений и т. п. По данным этих замеров в группе

режимов составляется подробная картина распределения активных и реактивных мощностей в энергосистеме и распределения напряжений и токов.

На основании анализа этого распределения и подсчета ряда вариантов распределений вырабатываются мероприятия по регулированию напряжения, выясняются графики активных и реактивных мощностей, вырабатываются основные указания диспетчеру по эксплуатации энергосистемы и т. д.

Этот способ анализа работы системы, являющийся при отсутствии устройств телемеханики единственным, не может считаться удовлетворительным в отношении своей оперативности. Проведение замеров в большой энергосистеме и составление на основании этих замеров режимов работы сети занимают большое время. Систематизированные результаты замеров получают обычно по истечении от одной до трех недель и могут быть использованы только для общих оперативных решений по руководству системой.

При распределении реактивной мощности на обязанности диспетчера лежит выработка на основании указаний и типовых графиков, полученных от группы режимов, суточных графиков реактивной мощности для отдельных станций и подстанций и наблюдение за их выполнением. Кроме того, диспетчер, собирая периодические сведения с отдельных станций и подстанций, строит действительные графики реактивной нагрузки отдельных станций и подстанций и действительный суммарный график реактивной мощности всей энергосистемы.

Так как при распределении реактивной мощности экономичность выработки ее имеет второстепенное значение, то для этой цели применяется почти исключительно способ работы по расписанию.

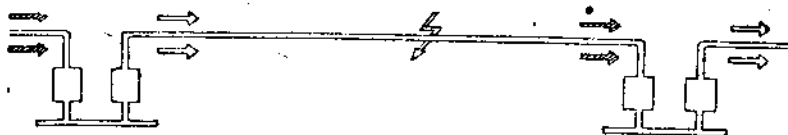
В энергосистеме выделяется ряд основных станций, которым даются жесткие графики реактивной мощности, и одна или несколько ведущих станций, которым дается приблизительный график и которые, регулируя напряжение, покрывают все колебания реактивной мощности.

Так же как и в случае распределения активной мощности, собирание сведений о реактивной нагрузке отдельных станций и подстанций по телефону занимает у диспетчера большое количество времени и в значительной степени лишает его оперативности в работе. Поэтому и здесь применение аппаратуры для автоматического суммирования и телеизмерения значительно улучшает работу диспетчера по руководству энергосистемой. Однако вследствие меньшей точности графиков реактивной нагрузки в связи с большими потерями реактивной мощности в сети и вследствие меньшего экономического значения распределения реактивной мощности между отдельными станциями и подстанциями контроль за выполнением графиков реактивной нагрузки имеет меньшее значение, чем контроль за выполнением графиков активной нагрузки. Поэтому автоматическое суммирование и телеизмерение реактивной мощности делают обычно во вторую очередь. При выполнении этого телеизмерения часто делают его не постоянным, а периодическим с вызовом по желанию диспетчера — так назы-

ваемое телеизмерение по вызову. Для вызова телеизмерения используют обычно устройства телеуправления.

В отношении распределения активной и реактивной мощности в сети на обязанности диспетчера лежит наблюдение за тем, чтобы это распределение происходило с наименьшими потерями.

При отсутствии средств телемеханики диспетчер не может осуществлять достаточно оперативного контроля за распределением активной и реактивной мощности в сети. Между тем осуществление такого контроля является весьма важным, так как распределение активной и реактивной мощностей в сети определяет собой величину потерь при передаче электрической энергии. Кроме того, в сетях энергосистемы в некоторых случаях могут существовать замкнутые потоки энергии, которые вызывают излишнюю загрузку отдельных элементов сети и увеличение потерь. Такие циркулирующие потоки могут, например, иметь место при передаче электрической энергии по двум параллель-



Фиг. 12. Сигнализация направления активной и реактивной мощности в сети.

ным путем, имеющим различное напряжение, при неправильной установке коэффициентов трансформации трансформаторов, связывающих эти параллельные пути, или же при работе нескольких станций на кольцевую сеть высоковольтных линий.

При применении устройств телемеханики диспетчер получает возможность непосредственного контроля за распределением активной и реактивной мощности в сети энергосистемы. Этот контроль осуществляется следующим образом:

На всех станциях и подстанциях основной сети энергосистемы на линиях устанавливаются реле направления активной и реактивной мощности, которые замыкают свои контакты при направлении энергии от шин подстанций или станций. Замыкание контактов через промежуточные реле передается при помощи аппаратуры телесигнализации в диспетчерский пункт.

У каждой линии в однолинейной схеме сети помещаются две стрелки разного цвета (например, красного и синего), освещаемые с задней стороны щита лампочками (фиг. 12). При направлении активной или реактивной мощности от шин подстанции или станции в сеть соответствующее реле направления мощности передает через аппаратуру телесигнализации сигнал в диспетчерский пункт. Этот сигнал включает там специальное сигнальное реле, которое замыкает цепь лампочки, освещающей соответствующую стрелку направления мощности на диспетчерском щите.

При наличии подобной сигнализации со всех станций и подстанций сети энергосистемы диспетчер будет постоянно иметь у себя перед

глазами на диспетчерском щите картину распределения активной и реактивной мощности в сети энергосистемы и, таким образом, получит возможность контролировать это распределение.

Для количественной оценки распределения активной и реактивной мощности нужно дополнить эту сигнализацию телеизмерениями, однако она одна уже дает возможность контролировать распределение в качественном отношении. Диспетчер может при этом получить от группы режимов указания, в каких точках сети и в какие часы должны быть токоразделы активной и реактивной мощности, и по этим указаниям, пользуясь сигнализацией направления активной и реактивной мощности, контролировать ее распределение.

8. Регулирование напряжения

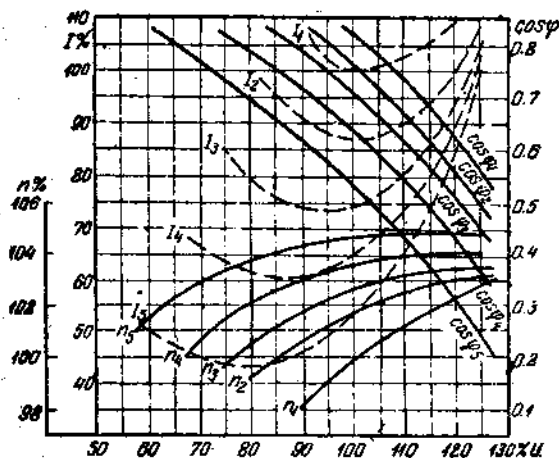
Величина напряжения электрического тока так же, как и его частота, является показателем качества электрической энергии и определяет степень пригодности ее для потребления. Величина напряжения в основных точках энергосистемы характеризует, кроме того, работоспособность самой энергосистемы. Поэтому регулирование на-

пряжения является одной из важнейших обязанностей диспетчера.

Рассмотрим сначала влияние колебаний напряжения на работу потребителей.

Асинхронные двигатели, имеющие преимущественно применение в промышленных предприятиях, рассчитываются с учетом колебаний напряжения в $\pm 5\%$.

Колебания напряжения даже в этих пределах являются, однако, для асинхронных двигателей весьма нежелательными. Понижение напряжения вызывает у



Фиг. 13. Изменение числа оборотов, тока и $\cos \varphi$ асинхронного мотора в зависимости от напряжения.

этих двигателей увеличение скольжения, уменьшение числа оборотов и снижение производительности приводимых моторами в движение агрегатов. При постоянной мощности на валу мотора это вызывает перегрузку его током и перегрев обмотки. Повышение напряжения увеличивает намагничивающий ток, ухудшает $\cos \varphi$ и также ведет к перегреву обмоток моторов (фиг. 13).

Влияние изменения напряжения на работу осветительных установок можно видеть из фиг. 14, на которой изображено изменение силы света, мощности, удельного потребления и продолжительности горения лам-

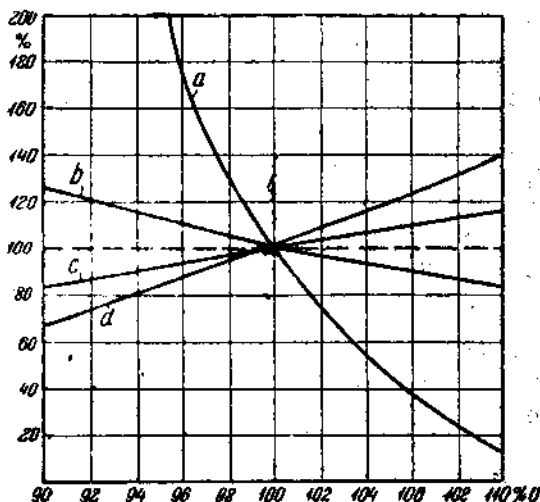
почек накаливания в зависимости от величины напряжения. Границы колебания напряжения определяются здесь в основном двумя факторами: при понижении напряжения — уменьшением силы света и увеличением удельного расхода и при повышении напряжения — уменьшением срока службы лампочек накаливания.

Колебания напряжения $\pm 5\%$, установленные для моторных потребителей, приемлемы и для потребителей, имеющих осветительную нагрузку. Понижение напряжения на 5% вызывает снижение освещенности приблизительно на 17% , что не выходит за пределы принимаемого обычно при проектировании освещения коэффициента ухудшения источников освещения. Повышение напряжения на 5% сокращает срок службы осветительных установок. Однако это сокращение срока службы компенсируется уменьшением удельного потребления лампочек накаливания. Кроме того, повышенное напряжение обычно совпадает со временем малой осветительной нагрузки, когда большая часть ламп отключена. Таким образом можно считать, что с точки зрения работы потребителей колебания напряжения не должны превосходить $\pm 5\%$.

С точки зрения работы энергосистемы величина колебаний напряжения в различных точках сети также имеет значение. В некоторых случаях она может являться показателем устойчивой работы системы. Так, например, в сети Мосэнерго понижение напряжения в одной из точек сети сверх допустимого предела сигнализирует об опасности нарушения устойчивой работы, и диспетчер обязан принять все меры к повышению этого напряжения вплоть до отключения абонентов.

Материалы и руководящие указания по регулированию напряжения диспетчер получает от группы режимов. Эти материалы обычно содержат: графики напряжения, которые необходимо поддерживать в узловых точках энергосистемы и на шинах генерирующих станций, пределы допустимых отклонений от этих графиков, указания о мероприятиях на случай аварийного понижения напряжения и т. п.

На обязанности диспетчера лежит контроль за выполнением заданных графиков напряжения и принятие мер по регулированию напряжения в случае отклонения его от установленной величины.



Фиг. 14. Изменение силы света, мощности, удельного расхода и продолжительности горения лампочки накаливания в зависимости от величины напряжения.

а — продолжительность горения; б — удельный расход; с — мощность и д — сила света.

Средствами для регулирования напряжения в энергосистемах служат:

- а) изменение напряжения на шинах станций;
- б) изменение напряжения на шинах подстанций, имеющих компенсаторы;
- в) изменение коэффициентов трансформации основных трансформаторов;
- г) изменение положения потенциал-регуляторов или бустеров, связывающих участки сети или секции станций.

Эти средства регулирования напряжения являются общими средствами, влияющими на распределение реактивной мощности и режим напряжений во всей сети энергосистемы. Распоряжается этими средствами регулирования центральный диспетчер энергосистемы.

Помимо этих общих средств в энергосистеме могут существовать средства для регулирования напряжения местного значения. К таким средствам относятся:

- а) перестановка ответвлений подстанционных трансформаторов;
- б) фидерные регуляторы и подстанционные трансформаторы с изменением коэффициента трансформации под нагрузкой.

Этими средствами, поскольку они имеют чисто местное значение, распоряжается дежурный персонал подстанций или местные диспетчеры.

Основным средством регулирования напряжения в энергосистемах является регулирование генераторами на шинах станций или компенсаторами на шинах подстанций. В сети выделяется ряд станций и компенсаторных подстанций, которым задаются графики напряжения. Для контроля напряжения в сети выделяется несколько контрольных подстанций, для которых также устанавливаются графики напряжения. В качестве таких контрольных подстанций выбираются обычно узловые подстанции с большим числом приходящих и отходящих линий, напряжение на шинах которых характеризует уровни напряжения определенного района. Обычно в сети энергосистемы для удовлетворительного контроля за напряжением достаточно выделить три-четыре такие подстанции.

Контроль диспетчера за выполнением графиков напряжения осуществляется при отсутствии телеизмерительных установок путем периодического опроса станций и подстанций о величине напряжения на их шинах, а при наличии телеизмерительных установок путем непосредственного отсчета по приборам в диспетчерском пункте. Естественно, что наличие телеизмерительных приборов делает контроль диспетчера за напряжением значительно более оперативным, поскольку оно позволяет диспетчеру в любой момент без всякого промедления видеть в диспетчерском пункте величину напряжения на шинах любой из контрольных подстанций или станций.

Так как диспетчеру в большинстве случаев не нужно непрерывно следить за величиной напряжения, то телеизмерение напряжения в диспетчерском пункте делают обычно так же, как и телеизмерение реактивной мощности, — по вызову. Это, как мы увидим в дальнейшем, является целесообразным с точки зрения экономии каналов связи и с точки зрения экономии места на диспетчерском пульте.

Быстрота осуществления мероприятий по регулированию напряжений зависит от степени вооружения диспетчера аппаратурой телемеханики. Здесь приборы телемеханики могут быть использованы как для контроля за величиной напряжения, так и для телекомандования и для непосредственного регулирования. При наличии аппаратуры телеуправления и телесигнализации целесообразно заменить передачу приказаний о повышении и понижении напряжения на станции по телефону передачей через аппаратуру телесигнализации. Это значительно сокращает время, необходимое для передачи распоряжений. Такую же замену целесообразно сделать и для приказаний о включении или отключении масляных выключателей при изменении рабочей схемы. В случае наличия в энергосистеме регулировочных или бустер-трансформаторов, определяющих напряжение в значительном районе, безусловно необходимо сигнализировать диспетчеру положение их переключающих устройств. В некоторых случаях целесообразно дать диспетчеру возможность осуществлять при помощи аппаратуры телеуправления перестановку анцапф этих трансформаторов или производить изменение положения потенциал-регуляторов непосредственно из диспетчерского пункта. В случае наличия в энергосистеме подстанций без обслуживающего персонала, имеющих средства для регулирования напряжения, управление этими средствами из диспетчерского пункта является просто необходимым.

9. Осуществление переключений и ликвидация аварий

Существующие положения о диспетчерской службе обеспечивают достаточно строгую централизацию операций по переключению. Ни одно из переключений в сети, контролируемой диспетчером, и в основной схеме станции не может быть сделано без распоряжения или разрешения диспетчера. Диспетчер предписывает пуск и остановку отдельных машин и котлов на станциях, включение и отключение трансформаторов и линий, разрешает вывод в ремонт и включение после ремонта основного оборудования и т. п. Так как работа отдельных частей энергосистемы чрезвычайно взаимозависима, то при каждом переключении диспетчер должен тщательно проанализировать те изменения в режиме работы энергосистемы, которые последуют за этим переключением. Для этого он должен в каждый момент иметь сведения о существующей схеме работы энергосистемы, т. е. знать положение основных масляных выключателей и разъединителей. Для сигнализации состояния схемы системы служит диспетчерский щит. При отсутствии устройств телемеханики этот щит служит только для фиксации получаемых диспетчером по телефону сообщений о переключениях. Диспетчер в этом случае устанавливает положение индикаторов на щите от руки соответственно получаемым сообщениям. При этом руководство переключениями в сети производится диспетчером по телефону, по телефону же он дает распоряжения о пуске и остановке машин на станциях, включении и отключении трансформаторов и т. п.

При наличии средств телемеханики сигнализация о переключениях в сети и на станциях фиксируется на диспетчерском щите авто-

матически. Кроме того, в этом случае диспетчер получает возможность передавать на подстанции и станции при помощи устройств телекомандования приказаний о включениях и отключениях, не прибегая к помощи телефона, или производить их с помощью телеуправления непосредственно из диспетчерского пункта.

Телеизмерения активной и реактивной мощности, напряжения, тока и т. п. позволяют диспетчеру более точно учитывать условия, в которых осуществляются переключения. Применение устройств телемеханики дает диспетчеру, с одной стороны, более точную и быструю информацию о происходящем в сети и, с другой стороны, позволяют ускорить проведение переключений и испытаний. Проведение переключений в сложных сетях производится обычно в определенной последовательности и требует строгого соблюдения этой последовательности. Особенно это необходимо в случае переключений, связанных с работами персонала на установках высокого напряжения. Ошибки в порядке переключений могут вызвать тяжелые аварии или даже несчастные случаи с людьми. Применение устройств телемеханики, увеличивая наглядность переключений, предупреждает эти ошибки.

Особенно большое значение имеет применение устройств телемеханики во время аварий. Ликвидация аварий в больших энергосистемах сложна и требует от диспетчера большого напряжения сил. Работа диспетчера в моменты ликвидации аварий должна отличаться особенной точностью и быстротой. В эти моменты точная и незамедлительная информация диспетчера об изменениях схем и режима работы сетей и станций особенно важна. Такая информация может быть достигнута только путем применения средств телемеханики.

Работа диспетчера во время ликвидации аварий распадается на две части. Сначала он должен выяснить, какие отключения произошли в сети, какие потребители остались без тока, какие станции отключились от сети, какое напряжение и какая частота имеются в различных точках сети и т. п. Только после выяснения этой общей картины аварии диспетчер может приступить к ее ликвидации. При наличии только телефонной связи выяснение размеров аварии и собирание сведений о происшедших отключениях занимают 5—8 мин. Между тем первые минуты после аварии являются особенно благоприятными для ее ликвидации. Это объясняется тем, что при резких нарушениях работы сети (резких понижениях напряжения и частоты) во время аварий часть моторных потребителей автоматически отключается от сети. Поэтому при авариях, связанных с отключением части генераторов или разделением сети на несинхронно работающие части с нехваткой генераторной мощности в одной из этих частей, в первый момент частота и напряжение не понижаются значительно. В последующие моменты отключившиеся потребители начинают снова приключаться и загружать сеть, понижая напряжение и частоту. Восстановление нормального режима в сети при этом становится более затруднительным.

При наличии аппаратуры телемеханики диспетчер в течение нескольких секунд получает сведения обо всех происшедших отключениях и непосредственно в диспетчерском пункте по приборам телеизмерительных установок может видеть аварийные изменения в режиме

работы энергосистемы. Это позволяет диспетчеру начать ликвидацию аварий в первые же моменты после ее возникновения и использовать наиболее благоприятное время до момента обратного включения абонентов.

Наличие аппаратуры телеуправления и телесигнализации позволяет также заменить сообщения по телефону со станций и подстанций посылкой в диспетчерский пункт стандартных сигналов, таких, например, как: «авария в тепловой части», «авария в электрической части», «пожар», «напряжение понижено или отсутствует» и т. д. Передача этих сигналов дополнительно к сигналам об отключении масляных выключателей значительно улучшает информацию диспетчера об аварии.

Во время ликвидации аварии диспетчер прежде всего должен позаботиться о выяснении и локализации места возникновения аварии. Затем он предпринимает меры для восстановления нормального режима и включения потребителей, оставшихся без тока.

Выяснение места повреждения при больших авариях, задевающих всю энергосистему, может представить трудности. При авариях линий электропередачи в случае неправильного действия защиты или при авариях, связанных с нарушением устойчивости работы станций, возможны автоматические отключения в сети, не связанные непосредственно с местом возникновения аварии. В этом случае диспетчер не может по происшедшим отключениям сразу определить место аварии. Его отыскание производится в таких случаях обычно путем последовательного включения или подъема с нуля отдельных участков сети до тех пор, пока не будет найден поврежденный участок. Эта операция занимает довольно много времени.

Применение аппаратуры телемеханики и здесь значительно улучшает работу диспетчера, давая возможность автоматически сигнализировать о месте повреждения. Для этого используется сигнализация направления мощности. При коротком замыкании на линии мощность по концам линии будет направлена от шин подстанции в линию. Это обстоятельство можно использовать для сигнализации короткого замыкания на линии, заставив сигнальные реле направления мощности при одновременном срабатывании их по обоим концам линии включать специальный аварийный сигнал (например, в виде стрелы по середине линии, как изображено на фиг. 12).

После выяснения места аварии или одновременно с этим диспетчер принимает меры к восстановлению нормального режима работы энергосистемы и производит включение потребителей, оставшихся без тока. Если авария задевает только часть энергосистемы, не нарушая параллельной работы станций, то диспетчер после установления места аварии производит последовательное включение выключившихся участков сети, давая одновременно ток потребителям. Порядок включения потребителей зависит при этом от способности станций энергосистемы принять их нагрузку. Если авария не сопровождалась отключением генераторов на станциях, то возможность включения потребителей очевидна. Если же авария сопровождалась отключением генераторной мощности, то при обратном включении потребителей диспет-

чер должен согласовывать это включение с пуском отключившихся во время аварии или резервных генераторов. При наличии аппаратуры телемеханики диспетчер непосредственно в диспетчерском пункте будет видеть моменты обратного включения генераторов и имеющуюся на станциях нагрузку. Это позволяет ему более точно и без затраты излишнего времени определять возможность включения потребителей, оставшихся без тока.

Для определения способности станций воспринимать нагрузку весьма целесообразно производить телеизмерение давления пара в котельных паровых электростанциях в диспетчерском пункте. Паровая станция способна нагружаться на полную мощность включенных машин только при нормальном давлении пара в котельной. Способность котельной изменять свою нагрузку определяет быстроту подъема станцией ее мощности. Поэтому при наличии в диспетчерском пункте телеизмерения давления пара в котельных диспетчер по тенденции изменения этого давления легко может судить о способности станций повышать свою нагрузку.

Для суждения о состоянии котельных станций можно также применять аппаратуру телесигнализации, передавая в диспетчерский пункт вместо телеизмерения давления пара сигналы о его понижении или повышении в известных пределах.

Особую сложность процесс ликвидации аварии приобретает в тех случаях, когда авария захватывает всю энергосистему. Такие аварии вызываются отключением больших мощностей на станциях, обесточиванием больших участков сети энергосистемы или разделением системы на ряд несинхронно работающих частей. Последний случай является тяжелым, потому что при ликвидации аварий диспетчер должен заботиться о синхронизации друг с другом отдельных участков сети, которые могут иметь весьма различную частоту.

При авариях, захватывающих всю энергосистему, нагрузка станций может резко возрасти или снизиться. При разделении сети энергосистемы на несинхронно работающие части некоторые из этих частей могут оказаться в условиях значительного недостатка генераторной мощности, в то время как другие части будут иметь избыток ее. Диспетчер должен в этом случае быстро перераспределить нагрузку между станциями, дав им указания о повышении или понижении нагрузки, и принять меры к восстановлению нормальной частоты и напряжения. Эта задача может оказаться особенно затруднительной при разделении энергосистемы на несинхронно работающие участки с большой нехваткой мощности в некоторых из участков. В этом случае для разгрузки таких участков целесообразно перебросить часть потребителей на питание от станций, имеющих избыток генераторной мощности, или пересоединить часть недогруженной генераторной мощности на сеть перегруженного участка. Если это в короткий срок не осуществимо, а также при авариях, сопровождающихся большим понижением частоты и напряжения и отсутствием возможностей быстро выравнивать эти параметры, диспетчеру для уменьшения нагрузки сети разрешается отключить часть потребителей по так называемому аварийному графику.

Аварийным графиком называется список потребителей, питающихся от сети, разбитый в зависимости от важности их и допустимости перерывов в электроснабжении на очереди для отключения при авариях.

Потребители, подлежащие отключению по каждой очереди, должны быть более или менее равномерно распределены по всей сети энергосистемы, чтобы обеспечить возможность отключения потребителей при необходимости разгрузки любого отдельного района.

Аварийное отключение потребителей производится обычно при значительном понижении частоты или напряжения с дальнейшей тенденцией к понижению. Это отключение необходимо производить возможно более быстро потому, что работа станций при пониженной частоте и напряжении усугубляет их аварийное состояние и затягивает ликвидацию аварий.

Роль аппаратуры телемеханики в процессе ликвидации аварии весьма ответственна. Устройства телеуправления передают диспетчеру сигналы о переключениях, а аппаратура суммирования и телеизмерения позволяет следить за нагрузкой станций, напряжением, частотой, давлением пара и пр. Диспетчер может передавать распоряжения о повышении или понижении нагрузки станций при помощи аппаратуры телеуправления и телесигнализации, не прибегая к телефонным переговорам. Это значительно сокращает время, необходимое для передачи этих распоряжений.

В некоторых случаях целесообразно предоставить диспетчеру возможность при помощи аппаратуры телеуправления и телесигнализации воздействовать на регуляторы турбин или же на специальные автоматические регуляторы, регулирующие нагрузку станций, непосредственно из диспетчерского пункта. Большое значение имеет также возможность производить из диспетчерского пункта пуск резервных агрегатов. Это особенно целесообразно при наличии в энергосистеме гидравлических станций, пуск которых может быть полностью автоматизирован и которые в течение 2-3 мин. могут быть развернуты, включены в сеть и нагружены.

При разделении сети энергосистемы на несинхронно работающие части телеизмерение частоты этих частей в диспетчерский пункт позволяет диспетчеру определить наличие несинхронной работы и помогает при синхронизации этих частей. Телеизмерение давления пара позволяет диспетчеру, как уже говорилось выше, судить о способности станций поднимать свою частоту.

Аварийное отключение потребителей производится обычно путем отключения фидеров питательной сети. Сообщение по телефону о необходимости этого отключения на все подстанции требует большого времени. При помощи аппаратуры телеуправления распоряжение об аварийном отключении потребителей может быть послано сразу на все подстанции в течение нескольких секунд. Такая же экономия времени может быть получена и при обратном включении потребителей после аварии.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЕ

ГЛАВА III

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТРОЙСТВ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

10. Определение термина телеизмерение, классификация и краткая история развития телеизмерений

Телеизмерение по своему буквальному смыслу означает «измерение на расстоянии». Однако не всякое измерение на расстоянии может быть названо телеизмерением. Рассмотрим, чем отличаются телеизмерительные установки от обычных.

При обычных методах электрического измерения указание измеренных величин происходит почти всегда на некотором расстоянии от места измерения. Например, в электрических установках все измерительные приборы выносятся обычно в центральный щит управления. Этот щит часто располагается на расстоянии 100—200 м от точек замера. Измерения приходится поэтому передавать на расстояние, соединяя проводами точки измерения с указательными приборами на щите.

По мере увеличения расстояния между местами замера и указания обычные методы измерения становятся мало пригодными. При увеличении расстояния сильно возрастают затраты на провода вследствие увеличения их длины и сечения, возрастают потери и необходимая для их покрытия мощность измерительных трансформаторов. Число проводов, необходимое при обычных методах измерения некоторых величин (например, мощность трехфазного тока), велико, и это также вызывает увеличение затрат.

Поэтому при большом расстоянии становится выгодным применять специальные устройства, преобразовывающие измеренную величину в другой вид энергии, позволяющий передавать измерение на большие расстояния по малому числу проводов малого сечения. Такой вид измерений мы и будем называть в дальнейшем «телеизмерением».

К телеизмерениям не следует относить преобразование измеряемых величин при помощи измерительных трансформаторов тока и напряжения или шунтов. Задачей этого преобразования является лишь пропорциональное уменьшение размерности измеряемой величины для возможности измерения, а не изменение ее природы. Такое преобразование не позволяет значительно увеличить расстояние передачи.

Этому препятствует индуктивное сопротивление линии переменному току, а также большое потребление энергии приборами переменного тока. Кроме того, получение достаточно малых для передачи на большое расстояние токов от измерительных трансформаторов затруднительно и невыгодно, так как требует специальных трансформаторов тока или, по крайней мере, специальных промежуточных трансформаторов значительной мощности.

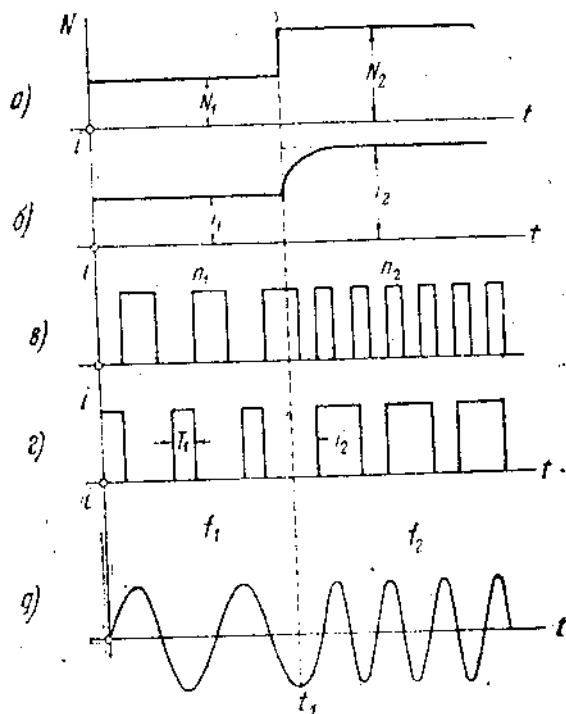
Перейдем к классификации устройств телеизмерений. Существует несколько способов классификации: по конструктивным принципам,

по роду передаваемого тока, по методу преобразования измерений в вид энергии, удобный для передачи, и т. п. (см. приложение 1). Мы примем последний метод классификации, допускающий также группировку телеизмерительных устройств с точки зрения требований, предъявляемых ими к линии связи. Такое разделение будет необходимо при рассмотрении использования линий связи.

По способу преобразования измерений все устройства телеизмерения можно разделить на три группы:

а) Устройства, работающие по методам интенсивности, в которых при изменении измеряемой величины изменяется интенсивность передаваемой по линии связи энергии. В большинстве случаев в устройствах телеизмерения, работающих по методам интенсивности, измеряемую величину преобразуют в постоянный ток, который изменяется по своей силе или напряжению при изменении измеряемой величины. Приборы постоянного тока обладают значительно большей чувствительностью, чем приборы переменного тока, поэтому при таком преобразовании можно применять малые силы тока, допускающие использование линий с сопротивлением порядка тысяч ом.

б) Импульсные устройства, в которых измеряемая величина преобразуется в импульсы постоянного или переменного тока, причем в зависимости от ее изменения меняется или продолжи-



Фиг. 15. Режим на линии связи в различных устройствах телеизмерения.

тельность импульсов (время-импульсные устройства) или частота (частотно-импульсные устройства) или число их (число-импульсные устройства).

в) Частотные устройства, в которых при изменении измеряемой величины изменяется частота переменного тока, передаваемого по линии связи.

Это деление на группы поясняется фиг. 15, на которой изображено изменение режима токов на линии связи в различных устройствах телеизмерения при изменении измеряемой величины.

В момент времени t_1 измеряемая величина внезапно увеличивается с N_1 до N_2 (фиг. 15, а). При методах интенсивности это вызывает соответствующее изменение силы тока (или напряжения) на линии с величины i_1 до величины i_2 (фиг. 15, б), причем

$$i = \varphi(N),$$

в импульсно-частотных устройствах возрастает частота импульсов с n_1 до n_2 (фиг. 15, в), причем

$$n = \varphi(N).$$

В время-импульсных устройствах изменится продолжительность каждого импульса с T_1 до T_2 (фиг. 15, г), причем

$$T = \varphi(N).$$

Наконец, в частотных устройствах возрастает частота импульсов (фиг. 15, д), причем

$$f = \varphi(N).$$

В каждой из трех групп устройств телеизмерений применяются различные методы преобразования и передачи измеренных величин. Для дальнейшей классификации телеизмерительных устройств по этим методам рассмотрим кратко историю телеизмерительной техники.

Первые телеизмерительные приборы появились в Америке в 1921/22 г. и в Германии в 1925/26 г. С тех пор они получили широкое распространение и к настоящему времени прочно вошли в обиход электрических установок и применяются наравне с обычными измерительными приборами.

В первое время при конструировании телеизмерительных приборов применялись уже известные методы электрической передачи показаний неэлектрических приборов. Основным известным методом состоял в том, что стрелка неэлектрического прибора соединялась с движком реостата и при своем передвижении изменяла силу тока или напряжение в цепи приемного прибора.

Для телеизмерения электрических величин этот путь сопряжен с трудностями конструктивного порядка, так как момент, даваемый электроизмерительными приборами, в большинстве случаев недостаточен для преодоления трения движка по сопротивлению реостата

Попытки создания приборов, в которых перемещение стрелки осуществлялось бы без трения, не давали значительного улучшения или приводили к большому усложнению и удорожанию конструкции.

Поэтому с самого начала развития телеизмерительной техники наряду с указанными способами стали разрабатываться специальные методы, которые по существу и можно называть телеизмерительными.

Сюда прежде всего нужно отнести умформерные методы телеизмерения, в которых энергия, передаваемая на расстояние, берется от самого измерительного прибора, преобразовываясь передатчиком в вид, удобный для телеизмерения. Из этих устройств первыми появились выпрямительные устройства с электронными лампами (фирмы Джеральд Электрик К^о и Вестингауз, 1924 г.), затем термоумформерные устройства и несколько позже (1927 г.) в Германии генераторные устройства (фирма Арон-Верке). В 1933 г. в СССР (ВЭИ) было разработано выпрямительное устройство телеизмерения с купроксными выпрямителями.

Точность передачи в устройствах реостатного и умформерного типа зависит, как будет показано дальше, от состояния линий связи, а в некоторых из них, применяющих вспомогательные источники тока, и от постоянства напряжения этих источников. Поэтому эти устройства не могли удовлетворить всем требованиям, предъявляемым к телеизмерениям в отношении расстояния и точности передачи.

Поэтому одновременно с реостатными умформерными устройствами телеизмерения стали разрабатываться телеизмерительные установки компенсационного типа, в которых изменение сопротивления линии и напряжения вспомогательного тока автоматически компенсируется в передающем телеизмерительном приборе. Эта компенсация производится при помощи специальных регуляторов, устанавливающих ток в линии соответственно измеряемой величине вне зависимости от сопротивления линии и напряжения вспомогательного тока.

Первая компенсационная установка телеизмерения была выпущена фирмой Вестингауз в 1924 г. В этой установке регулирование тока производилось при помощи реверсивного моторчика, переставляющего рукоятку реостата, включенного в линию, в зависимости от сравнения измеряемой величины и линейного тока. Вслед за этим появился целый ряд таких установок как в Америке, так и в Европе. Сперва в этих установках, так же как и в телеизмерительном устройстве фирмы Вестингауз, для регулирования линейного тока применялись вспомогательные моторчики. С течением времени этот метод, дававший замедленное регулирование и большое время установки, был оставлен, а вместо него стали применять методы более быстрого регулирования (непосредственное или вибрационное регулирование).

В последние годы для компенсационных телеизмерительных установок стали широко применять электронные устройства. В частности, ряд таких установок был разработан в СССР (Всесоюзный Электротехнический институт, Отраслевая лаборатория измерительных приборов и Институт Телемеханики). Применение электронных устройств

позволило значительно уменьшить время установки приборов, давая почти безинерционное телеизмерение.

Одновременно с перечисленными установками развивались установки, построенные по методу нулевого тока, в которых влияние изменения сопротивления линии устраняется тем, что при установившемся режиме ток в линии равен нулю. Вначале появились установки переменного тока (типа «Сельсин» фирмы Джeneralль Электрик К^о и позднее электродинамические фирмы Трюб и Тейбер). В последнее время было разработано телеизмерительное устройство по нулевому методу с передачей постоянным током (соединение термоумформерной системы с автоматическим потенциометром фирмы Лидс и Нортруп).

Компенсационные устройства телеизмерения, не зависящие от колебаний линейного сопротивления, не свободны от влияния утечек через линейную изоляцию, увеличивающих погрешность телепередачи. Это ограничивает расстояние их действия. Кроме того, эти устройства, так же как и некомпенсированные, заметно ограничивают использование линий связи. Стремление полностью избавиться от влияния изменения постоянных линий, увеличить расстояние и использовать все виды искусственных каналов связи вызвали к жизни импульсные методы телеизмерения. Как можно видеть из фиг. 15, режим на линии в импульсных устройствах телеизмерения аналогичен режиму телеграфной передачи. Поэтому передача импульсных телеизмерений может осуществляться при помощи методов телеграфии и при современном состоянии техники телеграфирования не ограничена по существу ни расстояниями, ни родом линий связи.

Импульсные методы телеизмерения развивались параллельно с компенсационными методами. Первая установка телеизмерения по импульсно-частотному методу была выпущена фирмой Вестингауз в 1923/24 г. Первая установка по время-импульсному методу была осуществлена фирмой Deutsche Telefon und Telegraph Werke (DTW) в Германии в 1928 г. Дальнейшее развитие импульсных телеизмерительных устройств шло, главным образом, по линии усовершенствования и изменения приемных устройств (импульсно-компенсационная система фирмы АЕГ, фото-компенсационная система ОЛИЗ, импульсно-частотная система фирмы Вестингауз и т. д.).

Следует упомянуть также о частотных устройствах телеизмерения, использующих измерения частоты переменного тока или числа биений его. Эти устройства, появившиеся в 1927/28 г., большого распространения, однако, не получили.

Произведенный обзор развития устройств телеизмерения позволяет сделать более полную их классификацию:

1. Методы интенсивности.
 1. Некомпенсированные:
 - а) умформерные;
 - б) реостатные, потенциометрические.
 2. Компенсированные:
 - а) моторные (с реостатным регулятором);
 - б) с непосредственным регулированием;
 - в) вибрационные;

г) нулевые.

II. Импульсные методы.

1. Время-импульсные.
2. Число-импульсные.
3. Частотно-импульсные.

III. Частотные методы.

Помимо приведенной классификации по методам преобразования устройства телеизмерения можно классифицировать по ряду других признаков. Мы остановимся еще на классификации телеизмерительных устройств с точки зрения способов показаний приемных приборов. Эта классификация понадобится нам при рассмотрении основных технических требований к устройствам телеизмерения.

С этой точки зрения устройства телеизмерения можно разделить на две группы:

- а) с непрерывными измерениями;
- б) с периодическими измерениями.

В устройствах телеизмерения, принадлежащих к первой группе, стрелка приемного прибора в любой момент времени указывает существующее значение телеизмеряемой величины.

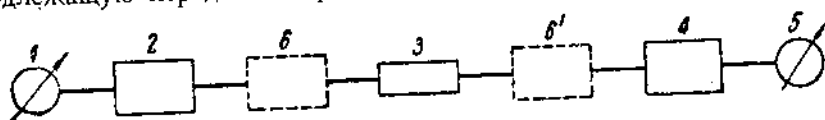
В устройствах второй группы при получении телеизмерений стрелка приемного прибора устанавливается на новое значение; все же время в промежутках между измерениями она находится в заторможенном состоянии, занимая положение, соответствующее последнему полученному телеизмерению.

11. Основные требования, предъявляемые к устройствам телеизмерения

Рассмотрим прежде всего принципиальную схему телеизмерения.

Схематически телеизмерительная установка состоит из следующих элементов (фиг. 16):

а) первичного измерительного прибора 1, измеряющего величину, подлежащую передаче на расстояние;



Фиг. 16. Принципиальная схема телеизмерительной установки.

1 — измерительный прибор; 2 — передатчик; 3 — линия связи; 4 — приемник; 5 — указательный прибор, 6 и 6' — устройства многократного использования линии связи.

- б) передатчика 2, преобразующего энергию, полученную от измерительного прибора, в вид, удобный для передачи;
- в) линии связи 3, по которой происходит передача;
- г) приемника 4, преобразующего энергию, полученную с линии, в вид, удобный для указания, и
- д) указательного прибора 5, указывающего измеренную величину в месте приема;

е) при передаче нескольких телеизмерений по одной линии добавляются элементы многократного использования линий связи 6 и 6'.

Первичный измерительный прибор часто конструктивно объединяется с передатчиком, а приемник — с указательным прибором. В некоторых устройствах телеизмерения приемник вообще выпадает, так как вид энергии, даваемый передатчиком, может быть непосредственно направлен в указательный прибор без преобразования.

Перейдем теперь к рассмотрению основных требований, предъявляемых к устройствам телеизмерения. Вначале рассмотрим общие требования, относящиеся ко всей телеизмерительной установке в целом, а затем предъявляемые к отдельным частям ее.

Степень совершенства телеизмерительной установки, как и всякого измерительного прибора, характеризуется прежде всего двумя основными показателями: величиной погрешности и временем установки. В отношении обеих этих величин телеизмерительные установки имеют ряд особенностей, резко отличающих их от обычных измерительных приборов. В то время как погрешностью обычных измерений является только погрешность самого прибора и измерительных трансформаторов, в телеизмерительных установках эта погрешность складывается из целого ряда погрешностей, присущих составным элементам установки. Держать ее в определенных границах поэтому значительно труднее. В то же время к точности телеизмерения в ряде случаев приходится предъявлять особо жесткие требования в связи с суммированием мощности. Цена каждого процента погрешности при суммировании возрастает вместе с ростом мощности энергосистемы. Так, например, при мощности энергосистемы в 700—800 kW каждый процент погрешности будет означать неточность суммирующего прибора в 7—8 kW. Обычная погрешность телеизмерительных приборов в $\pm 1,5$ — $\pm 2\%$ будет означать неточность в 12—16 kW, т. е. по своей абсолютной величине будет приближаться к мощности небольшой блокстанции. Естественно поэтому стремление снизить величину погрешности при суммировании и телеизмерении суммарных величин до минимума и предъявление в этом случае особо повышенных требований к точности телеизмерений.

Погрешность телеизмерительной установки складывается из следующих основных частей:

- а) погрешности измерения,
- б) погрешности телепередачи и
- в) погрешности указания.

В погрешность телепередачи входят: погрешность передатчика, погрешность передачи по линии связи и погрешность приемника.

Рассмотрим в отдельности влияние каждого из этих элементов на суммарную погрешность.

В качестве измерительных приборов в устройствах телеизмерения применяются стрелочные или вращающиеся приборы (счетчики); и те и другие обладают достаточно удовлетворительной точностью. В устройствах телеизмерения, однако, эти приборы связываются с передатчиком телеизмерительной установки, который в ряде случаев

оказывает на них обратное действие (явление трения, уравновешивающего момента и т. п.). Очевидно, что, чем меньше это обратное воздействие, тем легче получить от измерительного прибора надлежащую точность.

Точность измерения в значительной степени зависит также и от потребления прибора и величины даваемого им момента. Чем больше будет этот момент, тем меньше будет сказываться на точности измерения обратное воздействие передатчика. В умформерных устройствах, где вся мощность получается от первичного измерительного прибора, величина погрешности всей телеизмерительной установки особенно сильно зависит от величины даваемой им энергии.

Точность измерения зависит также от конструкции измерительного прибора. Чем совершеннее прибор, тем меньшую составляющую вносит он в величину суммарной погрешности. В большинстве телеизмерительных установок в качестве первичных измерительных приборов применяют поэтому приборы повышенной точности.

Точность телепередачи зависит прежде всего от принятого способа передачи. Наибольшую точность телепередачи дают импульсно-частотные методы телеизмерения, позволяющие в ряде случаев свести погрешность линии связи к нулю. Несколько меньшую точность дают время-импульсные методы, в которых некоторое влияние на точность передачи оказывают изменения постоянных линий связи и времени срабатывания передающих и приемных реле.

Наибольшую погрешность телепередачи дают телеизмерительные устройства, построенные по методу интенсивности. Здесь сказывается зависимость от параметров линии связи, изменение которых вносит дополнительную погрешность при передаче. В компенсированных устройствах эта дополнительная погрешность мала, в некомпенсированных же устройствах она может достигать до $\pm 1,0 - \pm 1,5\%$.

На точности телеизмерительных устройств, работающих по методам интенсивности, благоприятно сказывается отсутствие приемника. Так как в этих устройствах в большинстве случаев передача происходит постоянным током, то линейный ток может поступать непосредственно в указательный прибор. Поэтому дополнительные погрешности, даваемые приемником в устройствах телеизмерения, работающих по методам интенсивности, исчезают.

Величина погрешности, даваемой указательными приборами, зависит, главным образом, от получаемой ими энергии и от их конструкции. В большинстве случаев для уменьшения погрешности применяют приборы повышенной точности.

В отношении зависимости точности телеизмерения от колебания напряжения, температуры и частоты к телеизмерительным установкам предъявляются такие же требования, как и к обычным измерительным приборам. Следует только остановиться несколько подробнее на зависимости точности показаний от напряжения вспомогательных источников тока.

В ряде устройств телеизмерения энергия измеряемой величины используется только для управления энергией, передаваемой по линии, последняя же берется от вспомогательного источника тока. Это

позволяет увеличить величину этой энергии, но вместе с тем вносит в некоторых случаях зависимость от изменения напряжения вспомогательного источника тока. Так как колебания этого напряжения могут достигать величины $\pm 10 \div \pm 15\%$, то к телеизмерительным устройствам предъявляются требования, чтобы точность их показаний не зависела от колебаний напряжения вспомогательных источников тока или зависела от них в очень малой степени.

Общая суммарная погрешность в современных телеизмерительных устройствах не превышает погрешности измерительных приборов указательного типа ($\pm 3\%$). В ряде устройств эта погрешность еще меньше и в некоторых не превышает $\pm 0,6 \div \pm 1,0\%$. Следует указать, что требования к точности телеизмерительных устройств не для всех величин одинаковы. Максимальная точность требуется при телеизмерении активной мощности, напряжения и частоты, для всех же остальных величин требования к точности телеизмерения могут быть понижены.

Основным фактором, характеризующим совершенство телеизмерительного устройства, является время установки или время успокоения. Эта величина представляет собой время от включения прибора из обесточенного состояния до момента, когда стрелка не будет отходить от окончательного положения более чем на 1% от длины шкалы.

Значение этого времени особенно важно при телеизмерении величин, испытывающих быстрые изменения. При большом времени установки телеизмерительного устройства эти изменения не смогут быть переданы в диспетчерский пункт, и диспетчер на своем приемном приборе будет видеть только некоторое среднее значение измеряемой величины.

Время установки обычных измерительных приборов определяется в основном инерцией подвижных частей и силой их торможения магнитным полем. Это время не превышает 4—6 сек. В телеизмерительных устройствах общее время установки складывается из времени установки отдельных элементов устройства и в ряде случаев получается значительно большим. В некоторых случаях, особенно в импульсных устройствах телеизмерения, время установки приходится увеличивать для того, чтобы получить спокойное положение стрелки указательного прибора.

При передаче телеизмерений в диспетчерский пункт время установки не играет особого значения, так как диспетчера в большинстве случаев интересуют только средние значения измеряемых величин. Поэтому с временем установки в 10—15 сек., которое дают некоторые из современных телеизмерительных устройств, можно вполне примириться.

Наблюдающееся в последнее время внедрение в телеизмерительную технику электронных устройств позволило значительно сократить время установки и свести его к величинам, даваемым обычными измерительными приборами.

При рассмотрении общих требований к телеизмерительным устройствам нужно остановиться также на вопросе их питания. Первым вопросом является выбор рода тока.

Преимуществом переменного тока является простая возможность получения его на любой электрической установке без особых затрат непосредственно от сети. Из недостатков питания от сети переменного тока важнейшим является возможность его исчезновения или понижения его частоты и напряжения при авариях электроустановок. Таким образом в моменты аварий, когда диспетчеру особенно важно знать состояние сети, он может оказаться без телеизмерений. Некоторые авторы указывают, что для контролируемой установки это не имеет значения, так как при исчезновении напряжения на ней исчезает и сама измеряемая величина. Это справедливо, однако, только для измерения электрических величин и только, если питание телеизмерительной установки происходит от той же сети, к которой приключен измерительный прибор передатчика. Для таких величин, как давление пара, уровень воды, температура и т. п., значение которых во время аварии для диспетчера весьма важно, указанное выше соображение неправильно. Кроме того, для действия телеизмерительных устройств нежелательно не только полное исчезновение вспомогательного тока, но и значительное изменение его напряжения или частоты, которое во время аварии может иметь место.

При нормальном режиме напряжение сети переменного тока также может испытывать значительные колебания. Для устранения влияний этих колебаний на точность передачи и бесперебойность работы в некоторых устройствах телеизмерения приходится применять стабилизаторы напряжения.

Однако для питания от постоянного тока на контролируемой установке нужно иметь специальные источники питания, требующие надзора и обслуживания. В ряде случаев для этого могут быть использованы аккумуляторные батареи, обслуживающие оперативные цепи, или телефонные батареи. Напряжение этих батарей также подвержено колебаниям и от них нельзя требовать большего, чем при нормальной их эксплуатации, допускающей колебания напряжения на $\pm 10\%$. Наиболее приемлемым способом питания телеизмерительных устройств является питание от аккумуляторной батареи с постоянной подзарядкой через выпрямитель от сети переменного тока. Такой способ обеспечивает наименьшие колебания напряжения, не требует почти никакого эксплуатационного обслуживания их и позволяет обходиться с батареей небольшой емкости, поскольку она должна быть рассчитана на питание телеизмерительной установки только на моменты исчезновения переменного тока.

Однако и в этом случае приходится рассчитывать телеизмерительную установку на большие колебания напряжения, учитывая возможность повреждения выпрямителя и разряда аккумуляторной батареи.

Поэтому к телеизмерительным устройствам вне зависимости от способа их питания предъявляется требование, чтобы они выдерживали без увеличения погрешности и нарушения работы колебания напряжения в $\pm 10\%$.

В телеизмерительных устройствах, применяющих электронную аппаратуру, питание от постоянного тока осложняется требованием

нескольких различных напряжений питающего тока. В этих случаях иногда целесообразно производить питание телеизмерительной установки от переменного тока.

Рассмотрим еще одно важное требование, а именно требование к стандартности телеизмерительной аппаратуры. Отдельные элементы телеизмерительной установки должны выполняться одинаковыми для разных номинальных значений измеряемой величины. Это требование вызывается условиями производства, в которых массовая продукция может выпускаться только при отсутствии необходимости в индивидуальном выполнении каждого из изделий.

При обычных измерениях применение одинаковых приборов для величин с различными номинальными значениями осуществляется при помощи употребления измерительных трансформаторов, шунтов, дополнительных сопротивлений и тому подобных приспособлений, меняющих размерность измеряемой величины. В телеизмерительных устройствах применение таких приспособлений затрудняется тем обстоятельством, что в ряде случаев телеизмеряемые величины, имеющие различные номинальные значения, должны суммироваться как в месте приема, так и в месте передачи. Суммирование может осуществляться правильно только при условии одинаковой размерности (цены) всех суммируемых величин. Для того чтобы совместить требования стандартности и одинаковой размерности при суммировании, в телеизмерительных устройствах применяются специальные методы, которые будут рассмотрены в главе о суммировании.

Перейдем к рассмотрению требований, предъявляемых к отдельным элементам телеизмерительных установок.

Первичный измерительный прибор и передатчик помещаются на контролируемой установке, которая в ряде случаев может не иметь обслуживающего персонала или иметь его весьма низкой квалификации.

Поэтому измерительный прибор и передатчик, а также питающие источники тока должны требовать минимального обслуживания, допуская длительную работу без присмотра. Возможность расположения на установках без обслуживающего персонала, в которых могут иметь место большие колебания температуры, вызывает требование нечувствительности измерительного прибора и передатчика к колебаниям температуры в больших пределах.

Измерительный прибор, как указывалось выше, должен давать возможно большой момент, но в то же время не должен иметь большого потребления, с тем чтобы его можно было приключить к нормальным измерительным трансформаторам.

Размеры измерительного прибора и передатчика не должны быть велики и должны допускать установку на обычных панелях. В современных устройствах телеизмерения эти размеры не превышают размеров обычных измерительных приборов указательного типа и максимум имеют размеры самопишущих приборов.

Измерительный прибор и передатчик должны допускать телеизмерение величин, изменяющих свой знак. Дополнительные устройства, необходимые для этого, не должны быть сложными.

Указание измеренной величины в месте ее измерения одновременно с телеизмерением не всегда обязательно, но желательно. Это указание может даваться и отдельным обычным прибором.

Измерительный прибор и передатчик должны допускать возможность суммирования измеряемых величин и телеизмерение в диспетчерском пункте суммарной величины. В ряде случаев при наличии на контролируемой установке обслуживающего персонала, а особенно в случае суммирования и телеизмерения с генераторных станций, телеизмерительное устройство должно давать возможность указания суммарной величины на месте суммирования одновременно с телеизмерением ее в диспетчерском пункте. В ряде случаев может потребоваться одновременное указание суммарной нагрузки в нескольких пунктах или указание помимо общей суммы также и частичных сумм. Так, например, при суммировании и телеизмерении суммарной нагрузки генераторов паровой электростанции одновременно с телеизмерением нагрузки может потребоваться указание этой нагрузки в котельной, в машинном зале, на щите управления, у дежурного инженера и т. п. Мощность, даваемая суммирующим прибором, должна быть при этом достаточной для приведения в действие больших приборов, устанавливаемых в котельной и машинном зале.

В ряде случаев нулевое значение измеряемой величины передается в диспетчерский пункт не отсутствием тока (или импульсов) на линии, а некоторым значением его. Нулевое деление указательного прибора в диспетчерском пункте соответствует при этом некоторому минимальному значению тока или числу импульсов. При полном исчезновении тока или импульсов, что может произойти только при повреждении телеизмерительной установки или линии связи, стрелка указательного прибора уходит на нуль и сигнализирует таким образом о неисправности установки.

В отношении линии связи наиболее важными являются три требования.

Первое из них заключается в том, что изменение параметров линии связи (сопротивление проводов и проводимость изоляции), зависящее от температурных или атмосферных влияний, не должно сильно сказываться на точности телеизмерения.

Второе требование состоит в том, что передача телеизмерений должна производиться по минимальному числу проводов. Практически при передаче телеизмерений на большие расстояния приходится ограничиваться двумя проводами, так как предоставление большего их числа бывает затруднительным.

Третье требование заключается в том, что передача телеизмерений не должна требовать обязательного предоставления специальных линий связи. Телеизмерительные установки должны давать возможность передачи телеизмерений по обычным телефонным и телеграфным линиям связи, допуская по тем же линиям связи работу телеграфа, телефона, устройств телеуправления и телесигнализации, а также других телеизмерений. Передача телеизмерений по одной линии связи не должна оказывать мешающего действия на работу других устройств, включенных на соседние линии связи.

Включение телеизмерительных установок на линии связи желательно производить при помощи промежуточных устройств, которые изолировали бы передающую и приемную части от возможных на линии посторонних влияний, перенапряжений и т. п. Такое включение возможно только в импульсных устройствах телеизмерения. В большинстве устройств, работающих по методам интенсивности, оно невозможно.

Перейдем теперь к рассмотрению требований, предъявляемых к приемнику и указательному прибору.

Основным является требование «силового» отсчета. Под этим понимается, что приемный прибор должен давать не только зрительный отсчет, но и производить такое количество энергии, которое было бы достаточным для приведения в действие электрических указательных приборов обычного типа. Желательно, чтобы количество этой энергии обеспечивало возможность включения не только приборов указательного типа, но и самопишущих. Включение таких приборов особенно необходимо в случае телеизмерения мощности, так как избавляет диспетчера от необходимости производить запись телеизмеряемых величин. В ряде случаев, например, при обратной передаче суммарной мощности, о которой говорилось на стр. 26, приемный прибор должен допускать включение передатчика для дальнейшего телеизмерения.

Для уменьшения энергии, требуемой от приемника, часто применяют точечные самопишущие приборы. Однако применение таких приборов связано с некоторыми неудобствами, так как при измерении величин, испытывающих колебания, они часто дают рассеянное расположение точек, не всегда позволяющее проследить с достаточной ясностью колебания измеряемой величины. Важным требованием является требование спокойного положения стрелки указательного прибора. Это относится преимущественно к импульсным телеизмерительным устройствам, в которых последовательно передаваемые импульсы могут вызвать колебания стрелки измерительного прибора в такт импульсам. Приемный прибор в этом случае должен преобразовывать получаемые импульсы так, чтобы снизить колебание стрелки указательного прибора до определенного минимума, позволяющего производить беспрепятственный отсчет по прибору. Таким минимумом считают колебания стрелки в 1% от длины шкалы.

Телеизмерительное устройство должно давать возможность получить на указательном приборе как равномерную, так и неравномерную шкалу. Последняя необходима при телеизмерении таких величин, как напряжение, частота и т. п., где измеряемая величина нормально колеблется близко около номинального значения и где диспетчер должен иметь возможность наблюдать сравнительно незначительные отклонения от этой номинальной величины.

Приемные устройства телеизмерительных установок должны допускать суммирование и вычитание телеизмерительных величин в любых комбинациях. Помимо получения общей суммы должна быть обеспечена возможность получения любых частичных сумм. При этом приемные устройства должны давать возможность перегруппировыв-

вать слагаемые частичных сумм в любых комбинациях, не требуя для этого сложных переключений или каких-либо изменений постоянных приборов. Приемные и суммирующие приборы должны давать такую мощность, чтобы как общая, так и частичные суммы могли быть путем включения передатчиков переданы обратно на контролируемую установку. При этом в суммирующем устройстве должна быть предусмотрена возможность искажения любой из передаваемых суммарных величин, как это указывалось на стр. 26.

Изложенные выше требования к устройствам телеизмерения являются максимальными. Не все телеизмерительные устройства могут им удовлетворять. В ряде условий поставленные задачи могут быть разрешены простыми и дешевыми методами телеизмерения, не удовлетворяющими некоторым из поставленных выше требований. Поэтому при выборе устройств телеизмерений нужно подходить к решению каждой задачи индивидуально, тщательно оценивая поставленные условия и требования, которым должна удовлетворять телеизмерительная установка.

Однако не следует думать, что выполнение поставленных выше требований обусловливает сооружение сложного и дорогостоящего телеизмерительного устройства. Существует целый ряд достаточно простых принципов, применение которых дает конструктивно простые и дешевые телеизмерительные устройства, удовлетворяющие поставленным требованиям.

ГЛАВА IV

НЕКОМПЕНСИРОВАННЫЕ УСТРОЙСТВА ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ, РАБОТАЮЩИЕ ПО МЕТОДАМ ИНТЕНСИВНОСТИ

12. Умформерные устройства телеизмерения

В умформерных устройствах энергия, передаваемая в пункт приема, черпается непосредственно из энергии измеряемой величины. Это является большим преимуществом этих устройств, так как в месте измерения отпадает необходимость в вспомогательных источниках тока, что значительно сокращает эксплуатационное обслуживание передатчиков. Вместе с тем это является и недостатком, так как количество энергии, которую можно получить непосредственно от измеряемой величины, не может быть велико, что вносит определенные трудности в отношении величины потребления приемных приборов, их точности и т. п. Несмотря на это, умформерные методы телеизмерения вследствие своей простоты и нетребовательности в отношении эксплуатационного обслуживания получили большое распространение.

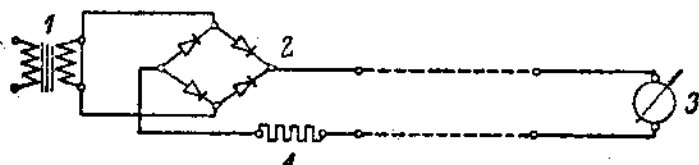
Существующие устройства телеизмерения умформерного типа можно разбить по принципу их действия на следующие группы:

- а) выпрямительные;
- б) термоумформерные и
- в) генераторные.

а) **Выпрямительные устройства телеизмерения.** Выпрямительные устройства принадлежат к наиболее простому виду телеизмеритель-

ных установок. Принцип их действия заключается в том, что измеряемая величина переменного тока выпрямляется при помощи выпрямителей в постоянный ток, напряжение которого через соединительные провода измеряется обычным миллиамперметром постоянного тока.

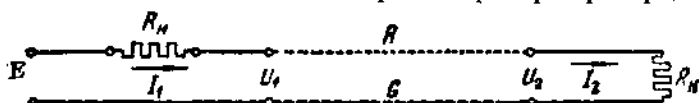
Выпрямление может осуществляться при помощи электронных или твердых выпрямителей. Наиболее привлекательным является последний способ, так как твердые выпрямители почти не требуют эксплуатационного обслуживания и не нуждаются в вспомогательных источниках питания. Принципиальная схема телеизмерения изображена на фиг. 17. Напряжение или ток от измерительного трансформатора про-



Фиг. 17. Принципиальная схема телеизмерения по методу выпрямления.

— трансформатор напряжения; 2 — выпрямитель, 3 — приемный прибор; 4 — сопротивление.

ходит через твердые выпрямители, соединенные по схеме Греча. Выпрямленный ток поступает в линию связи, на конце которой включен прибор постоянного тока со шкалой, проградуированной в единицах измеряемой величины. Отклонения стрелки прибора пропорциональны



Фиг. 18. Цепь телеизмерения в некомпенсированных устройствах телеизмерения.

силе проходящего через прибор тока; последняя же зависит от напряжения, даваемого трансформатором 1, коэффициента выпрямления выпрямителя 2 и суммарного сопротивления линии связи и приемного прибора. Величина тока, проходящего через приемный прибор, определяется из следующих соотношений (фиг. 18):

$$\dot{E} = \dot{I}_1 R_n + \dot{U}_1;$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 R_n;$$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 \operatorname{ch} \gamma l + \dot{I}_2 \dot{Z} \operatorname{sh} \gamma l;$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 \operatorname{ch} \gamma l + \frac{\dot{U}_2}{\dot{Z}} \operatorname{sh} \gamma l,$$

где $\dot{E}$ — э. д. с., даваемая передатчиком;

$\dot{U}_1$ — напряжение в начале линии;

$\dot{U}_2$ — напряжение в конце линии;

- I_1 — сила тока в начале линии;
 I_2 — сила тока в конце линии;
 R_n — сопротивление в начале линии, включая и сопротивление передатчика;
 R_k — сопротивление в конце линии, включая и сопротивление приемного прибора;
 l — длина линии;
 $\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$ — коэффициент распространения волны;
 $Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$ — волновое сопротивление линии.

Для постоянного тока $\gamma = \sqrt{RG}$ и $Z = \sqrt{\frac{R}{G}}$, где R — километрическое сопротивление линии и G — километрическая проводимость линии.

Решая совместно написанные выше уравнения, получим

$$\begin{aligned}
 E &= I_1 R_n + U_1 = \left(I_2 \operatorname{ch} \gamma l + \frac{U_2}{Z} \operatorname{sh} \gamma l \right) R_n + \\
 &+ U_2 \operatorname{ch} \gamma l + I_2 Z \operatorname{sh} \gamma l = I_2 R_n \operatorname{ch} \gamma l + I_2 \frac{R_n R_k}{Z} \operatorname{sh} \gamma l + \\
 &+ I_2 R_k \operatorname{ch} \gamma l + I_2 Z \operatorname{sh} \gamma l = I_2 \left[(R_n + R_k) \operatorname{ch} \gamma l + \left(\frac{R_n R_k}{Z} + Z \right) \operatorname{sh} \gamma l \right].
 \end{aligned}$$

Из этого уравнения следует, что сила тока I_2 в приемном приборе, а вместе с этим и показания этого прибора пропорциональны э. д. с., даваемой передатчиком. Эта пропорциональность сохраняется, однако, только при постоянстве R_n , R_k , R , G и l .

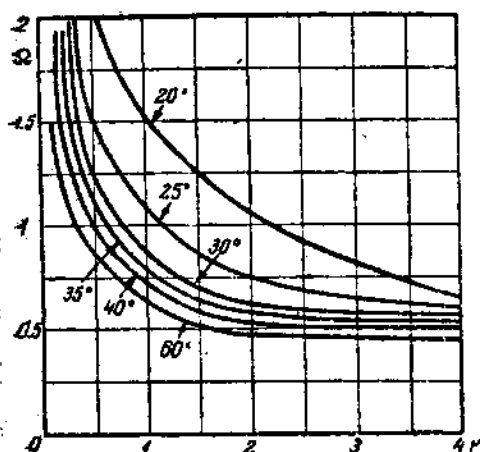
Величина коэффициента пропорциональности изменяется в зависимости от длины и параметров линии связи, вследствие чего приемный прибор должен иметь специальную градуировку шкалы для каждой отдельной линии. Для одной и той же линии колебания R и G вследствие изменения температурных или атмосферных условий вызывают дополнительные погрешности. Таким же образом действуют и температурные колебания сопротивлений R_n и R_k .

Для уменьшения погрешности вследствие температурных изменений сопротивлений линии приемного и передающего концов прибегают к увеличению R_n или R_k , включая в одно из концов большое балластное сопротивление из материала с малым температурным коэффициентом. Температурные колебания сопротивления всей цепи по отношению к этому сопротивлению незначительны, благодаря чему погрешность, вносимая этими колебаниями, невелика. Балластное сопротивление обычно регулируется в зависимости от сопротивления линии связи, что позволяет избежать градуировки приемных приборов для каждой линии в отдельности.

Указанные выше соотношения имеют место для всех некомпенсированных устройств телеизмерения, в которых величина напряжения в начале линии зависит от значения измеряемой величины.

Влияние величины балластного сопротивления на величину погрешности будет проанализировано подробнее в главе о выборе устройств

телеизмерения (см. стр. 471). Здесь же укажем, что при требовании большой точности телеизмерения или при большой дальности передачи целесообразно все же производить градуировку шкалы приемного прибора для каждой линии в отдельности, учитывая возможные колебания ее параметров.



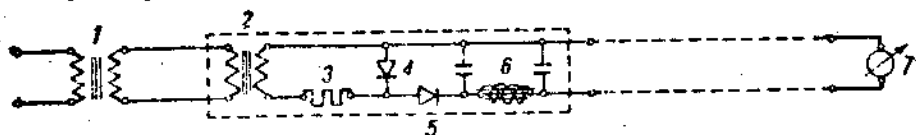
Фиг. 19. Зависимость сопротивления меднозакисного выпрямителя от напряжения при различных температурах.

Значительно большее значение имеет изменение сопротивления твердых выпрямителей. Это сопротивление сильно зависит от температуры и приложенного напряжения (фиг. 19).

Изменение сопротивления выпрямителей в зависимости от напряжения вносит дополнительные погрешности в начале шкалы, благодаря чему выпрямительные устройства с твердыми выпрямителями, вклю-

Перейдем к рассмотрению влияния на величину погрешности изменения свойств выпрямителей. Коэффициент выпрямления твердых выпрямителей зависит от формы кривой переменного тока и от сопротивления выпрямителей в пропускающем направлении.

Изменение формы кривой переменного тока заметно влияет на коэффициент выпрямления. Практического значения это, однако, не имеет, так как форма кривой переменного тока обычно существенных изменений не испытывает.



Фиг. 20. Схема выпрямительного устройства телеизмерения ВЭИ.

1 — трансформатор напряжения; 2 — вспомогательный трансформатор; 3 — дополнительное сопротивление; 4 — обратный выпрямитель; 5 — прямой выпрямитель; 6 — сглаживающий фильтр; 7 — указательный прибор.

ченными по схеме фиг. 17, целесообразно применять только для величин, измеряемых вблизи номинального значения (например, напряжение).

Температурные изменения сопротивления могут быть компенсированы включением выпрямителей по специальной схеме. Одна из таких схем, примененная в выпрямительном устройстве телеизмерения Всесоюзного электротехнического института, изображена на фиг. 20.

В этой схеме для компенсации температурных погрешностей параллельно к рабочему выпрямителю 5, пропускающему прямые полуволны переменного тока, присоединен обратный выпрямитель 4, пропускаю-

ний обратные холостые полуволны. Компенсация температурной погрешности выпрямителей основана на том, что величина обратного тока их меняется при изменении температуры в более широких пределах, так как температурный коэффициент обратного сопротивления выпрямителей в несколько раз больше температурного коэффициента прямого сопротивления.

По схеме включения выпрямителей 4 и 5 прямая полуволна напряжения в цепи рабочего выпрямителя 5 является обратной полуволной в цепи выпрямителя 4. Параллельные цепи обоих выпрямителей включены последовательно с добавочным сопротивлением 3. Температурное приращение обратного тока выпрямителя 4, создавая дополнительное падение напряжения на сопротивлении 3 (в случае, например, повышения температуры), понижает напряжение на рабочем выпрямителе 5 и тем самым не допускает увеличения тока вследствие уменьшения прямого сопротивления этого выпрямителя при повышении температуры.

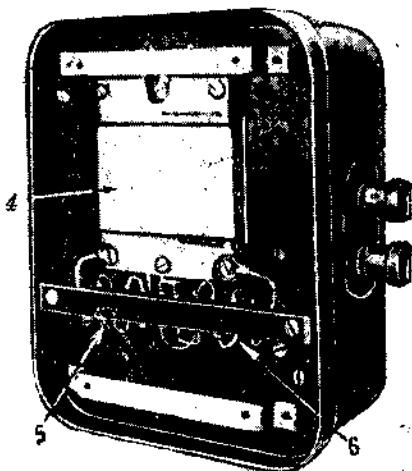
Сопротивление 3 выполняется из материала с малым температурным коэффициентом и служит помимо температурной компенсации также и для снижения погрешности от колебаний сопротивления линий.

Суммарная погрешность телеизмерения в выпрямительном устройстве ВЭИ составляет $\pm 2,0 - \pm 2,5\%$, из которых $\pm 1\%$ падает на температурную погрешность выпрямителей и $\pm 1\%$ на погрешность от колебания сопротивления линии (при сопротивлении ее в 4 000 Ω и изменении температуры $\pm 15^\circ \text{C}$).

Внешний вид выпрямительного устройства ВЭИ изображен на фиг. 21.

Приемный прибор представляет собой простой миллиамперметр. Номинальный ток в линии составляет 3—4 мА. Максимальное сопротивление линии связи 4 000 Ω . Дополнительное сопротивление имеет величину в 22 000 Ω .

Добавочный трансформатор 2 (фиг. 20) служит для уменьшения напряжения на выпрямителях и ограничения силы тока. Твердые выпрямители имеют определенные пределы в отношении напряжения и силы тока. Прикладываемое напряжение не должно превышать на каждый элемент 4—5 В для меднозакисных выпрямителей и 15 В для селеновых выпрямителей. Плотность тока не должна быть больше чем 0,025—0,05 А/см² для меднозакисных выпрямителей и 0,04—0,05 А/см² для селеновых выпрямителей. При большей плотности тока выпрямители могут перегреться и потерять свои выпрямительные



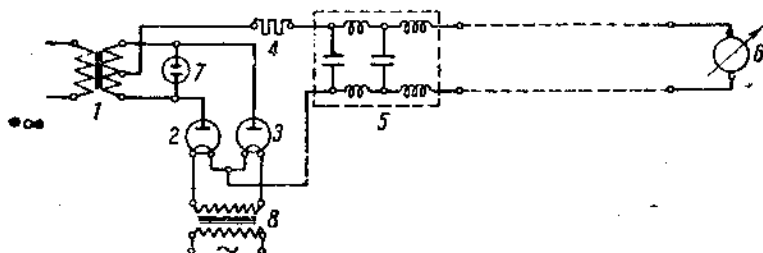
Фиг. 21. Выпрямительное устройство телеизмерения ВЭИ. Вид сзади.

4 — добавочное сопротивление; 5 — прямой выпрямитель, 6 — обратный выпрямитель.

свойства. Дополнительный трансформатор выбирается обычно с значительным насыщением железа, чтобы предотвратить перегрузку выпрямителей и их перегрев в случае короткого замыкания.

Следует указать, что твердые выпрямители с течением времени меняют свои свойства. Поэтому выпрямительные устройства телеизмерения необходимо периодически (примерно раз в 1—1½ года) проверять в лабораторных условиях.

При телеизмерении силы тока посредством выпрямительных устройств следует учитывать, что вторичная сила тока в 5 А, даваемая обычными трансформаторами тока, не может быть непосредственно путем выпрямления передана по линии, так как линейный ток не должен превосходить нескольких миллиампер. Кроме того, должны быть приняты меры для того, чтобы при повреждении линии связи или выпрямителей вторичная цепь трансформатора тока не оказалась разом-



Фиг. 22. Телеизмерительное устройство с электронным выпрямителем.

1 — трансформатор; 2 и 3 — двухэлектродные электронные лампы; 4 — дополнительное сопротивление; 5 — сглаживающий фильтр; 6 — приемный прибор; 7 — предохранительная неоновая лампа; 8 — трансформатор накала.

кнутой или замкнутой на очень большое сопротивление, так как это приводит к значительному повышению напряжения во вторичной цепи, угрожающему целости изоляции трансформатора и выпрямителя. Для избежания этого во вторичной цепи трансформатора устанавливаются разрядные устройства (тлеющий разрядник, неоновая лампа), которые при повышении напряжения замыкают вторичную обмотку трансформатора накоротко (фиг. 22). Можно также включать вторичную обмотку трансформатора тока на постоянное сопротивление в виде потенциометра, выполненного из материала с малым температурным коэффициентом. Для телеизмерения в этом случае используется часть напряжения потенциометра, которая через дополнительный трансформатор направляется в выпрямитель и затем по линии связи в приемный прибор.

При помощи твердых выпрямителей можно производить также телеизмерение мощности переменного тока. Схема такого телеизмерительного устройства, разработанная в Ленинградском институте тепломеханики, изображена на фиг. 23.

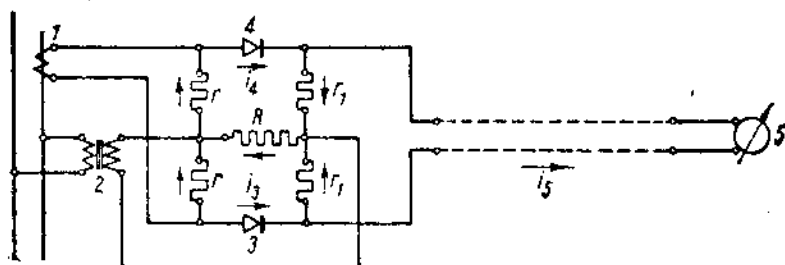
В этой схеме для получения напряжения постоянного тока, пропорционального мощности переменного тока, используется свойство вольтамперной характеристики твердых выпрямителей давать в на-

чальной своей части (до напряжений в 0,3—0,5 В) квадратичную зависимость тока от напряжения, т. е. $i = ke^2$.

Ток от трансформатора 1 проходит через сопротивления r , давая в каждом из них падение напряжения $e_1 = ri = k_1 i$. Ток от трансформатора напряжения 2 проходит по сопротивлению R , давая в нем падение напряжения $e_2 = k_2 u$ (последовательно с сопротивлением R в цепи трансформатора напряжения включено дополнительное сопротивление, не показанное на фиг. 23).

Ток в приемном приборе 5 пропорционален сумме напряжений, получающихся в схеме на сопротивлениях r_1 от токов i_2 и i_4 , протекающих через выпрямители 3 и 4.

$$i_5 = k_3(r_1 i_4 - r_1 i_3) = k_4(i_4 - i_3).$$



Фиг. 23. Схема выпрямительного телеваттметра.

1 — трансформатор тока; 2 — трансформатор напряжения; 3 и 4 — меднозакисные выпрямители; 5 — указательный прибор.

Вследствие квадратичности вольтамперной характеристики выпрямителей тока, протекающие через них, равны

$$i_4 = k_5(e_2 + e_1)^2 = k_5(e_1^2 + e_2^2 + 2e_1e_2)$$

и

$$i_3 = k_5(e_2 - e_1)^2 = k_5(e_1^2 + e_2^2 - 2e_1e_2).$$

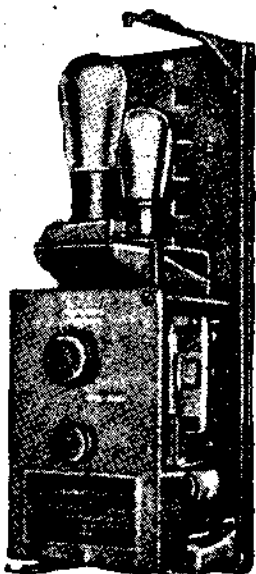
Поэтому ток i_5 равен

$$i_5 = k_4(i_4 - i_3) = k_4k_5 4e_1e_2 = 4k_1k_2k_3k_5 iu = K \cdot iu,$$

т. е. пропорционален мощности переменного тока. Прибор 5, если его отградуировать в единицах мощности, будет указывать поэтому мощность, измеряемую трансформаторами 1 и 2.

Помимо твердых выпрямителей для целей телеизмерения применяются также и выпрямители с электронными лампами (фирмы Джeneralь Электрик К⁰ и Вестингауз, в СССР — Всесоюзный электротехнический институт и Отраслевая лаборатория измерительных приборов). Схема одной из таких установок изображена на фиг. 22. Измеряемая величина (напряжение или ток) через дополнительный трансформатор 1 поступает в электронный выпрямитель с двумя двухэлектродными лампами 2 и 3, выпрямляющими обе полуволны переменного тока. Выпрямленный ток, проходя через дополнительное сопротивление

ние 4 и сглаживающий фильтр 5, поступает в линию связи и приемный прибор 6. При телеизмерении силы тока параллельно вторичной обмотке трансформатора 1 включается неоновая лампа 7, закорачивающая эту обмотку в случае опасного повышения вторичного напряжения.



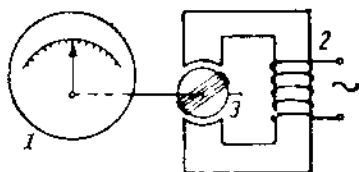
Фиг. 24. Телепередатчик со снятой крышкой.

Внешний вид телеизмерительной установки с электронным выпрямителем в исполнении фирмы Дженераль Электрик К° изображен на фиг. 24.

Недостатком электронного выпрямителя является необходимость питания нитей накала электронных ламп, для чего в месте измерения нужен вспомогательный источник тока. Кроме того, электронные лампы имеют определенный срок службы, и их периодически необходимо заменять, что увеличивает эксплуатационное обслуживание установки. При замене ламп необходима каждая раз проверка установки, так как лампы могут иметь неодинаковые характеристики. Преимуществом электронных выпрямителей является отсутствие у них температурных погрешностей.

По схеме фиг. 22 можно производить телеизмерение только напряжения или силы тока. Отраслевая лаборатория измерений (ОЛИЗ) завода «Электроприбор» разработала способ, допускающий выпрямительное телеизмерение любых величин. Величина, подлежащая пере-

даче на расстояние, измеряется обычным прибором, ось которого соединена с рамкой, перемещающейся в поле электромагнита переменного тока (фиг. 25). Электродвижущая сила, индуцируемая в обмотке рамки, пропорциональна углу поворота ее относительно направления магнитного потока. Так как этот угол равен углу отклонения стрелки прибора 1, то возникающая в рамке э. д. с. пропорциональна измеряемой величине. Схема включения индукционного передатчика изображена на фиг. 26. Электродвижущая сила, даваемая индукционным передатчиком 2, выпрямляется при помощи трехэлектродной лампы 3. Выпрямленный ток через дополнительное сопротивление 4 и сглаживающий фильтр 5 подается через линию связи в приемный прибор 6. Питание индукционного передатчика и электронной лампы осуществляется от сети переменного тока через трансформатор 1. Величина э. д. с. в рамке индукционного передатчика зависит от величины магнитного потока и, следовательно, напряжения возбуждения электромагнита, поэтому колебания напряжения переменного тока в сети, питающей



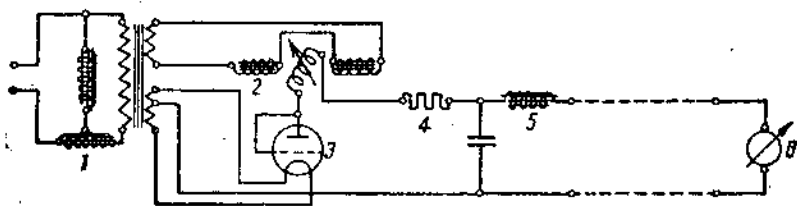
Фиг. 25. Схема индукционного передатчика.

1 — измерительный прибор; 2 — электромагнит с обмоткой переменного тока; 3 — рамка, связанная с осью измерительного прибора.

трансформатор 1, вызывают дополнительные погрешности телеизмерения. Для снижения величины этих погрешностей трансформатор 1 снабжен с первичной стороны стабилизатором напряжения.

Описанный способ позволяет передавать показания любых приборов как электрических, так и неэлектрических. Путем смещения положения рамки индукционного передатчика можно получить передачу нулевого значения измеряемой величины значащей величиной тока (нулевой отсчет). Таким же путем можно получить передачу показаний приборов с нулем посредине шкалы.

Описанные выпрямительные устройства по своим показателям не принадлежат к разряду совершенных устройств телеизмерения. К ним нельзя предъявлять строгих требований в отношении точности передачи, они зависят от изменения параметров линии связи, некоторые из них не обладают универсальностью и пригодны только для телеизмерения определенных величин.



Фиг. 26. Схема индукционно-выпрямительной установки телеизмерения ОПИЗ.

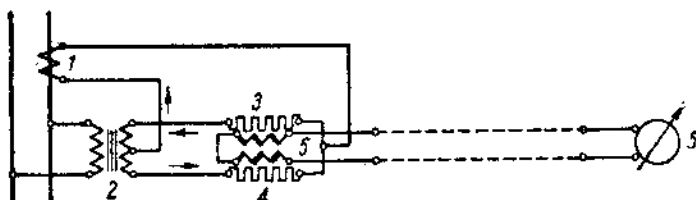
1 — питающий трансформатор с стабилизатором; 2 — индукционный передатчик; 3 — выпрямительная лампа; 4 — добавочное сопротивление; 5 — сглаживающий фильтр; 6 — приемный прибор.

Вместе с тем, в отношении ряда условий выпрямительные устройства вполне удовлетворительны. Они чрезвычайно просты по конструкции, не содержат вращающихся частей, имеют небольшие размеры. Время установки выпрямительных устройств телеизмерения составляет 6—7 сек., т. е. немногим больше, чем у обычных измерительных приборов. Устройства, измеряющие мощность, позволяют легко осуществлять суммирование путем сложения напряжений, даваемых отдельными передатчиками. Подробнее вопросы суммирования будут освещены в отдельной главе, здесь же отметим только, что в выпрямительных устройствах с твердыми выпрямителями суммирование связано с некоторыми ограничениями в отношении получаемой мощности и возможности дальнейшей передачи. В устройствах индукционно-выпрямительного типа таких ограничений нет, и суммирование возможно как на передающем, так и на приемном концах.

В отношении использования линий связи выпрямительные устройства, так же как и все устройства телеизмерения, работающие по методам интенсивности, имеют некоторые ограничения. Передача может производиться только в канале постоянного тока (см. стр. 446), не подразделенном промежуточными трансформаторами.

Передача величин, изменяющих свое направление, не требует никаких дополнительных приспособлений. Передача нулевого тока возможна только в индуктивно-выпрямительных устройствах.

б) Термоумформерные устройства телеизмерения. В термоумформерных устройствах ¹ преобразование измеряемой величины происходит при помощи термопар, обогреваемых сопротивлениями, через которые проходит ток, характеризующий измеряемую величину. Принципиальная схема такого устройства изображена на фиг. 27. Ток от измерительного трансформатора напряжения проходит через сопротивления 3 и 4, нагревающие две термопары 5. К средней точке вторичной обмотки трансформатора напряжения приключена обмотка трансформатора тока, цепь которого замыкается через обе половины вторичной обмотки трансформатора напряжения и оба сопротивления 3,



Фиг. 27. Схема термоумформерного преобразователя.

1 — трансформатор тока; 2 — трансформатор напряжения; 3 и 4 — нагревательные сопротивления; 5 — термопары; 6 — приемный прибор.

соединенные параллельно. Как можно видеть из фиг. 27, в одном из этих сопротивлений ток от трансформатора тока складывается с током от трансформатора напряжения, а в другом вычитается:

$$i_3 = ke + 0,5 i \quad \text{и} \quad i_4 = ke - 0,5 i.$$

Ток в приемном приборе 6 определяется напряжением, даваемым термопарами 5. Эти термопары включены таким образом, что э. д. с. их направлены друг против друга. Так как возникающие в термопарах э. д. с. пропорциональны квадратам обогревающих их токов, то результирующая э. д. с. будет равна

$$e_{из} = (ke + 0,5i)^2 - (ke - 0,5i)^2 = 2kei,$$

т. е. будет пропорциональна мощности, измеряемой трансформаторами 1 и 2. В случае измерения мощности трехфазного тока схема несколько усложняется, но принцип остается тем же самым.

Термоумформерные преобразователи допускают также телеизмерение напряжения и силы тока. В этом случае шкала приемных приборов будет квадратичной.

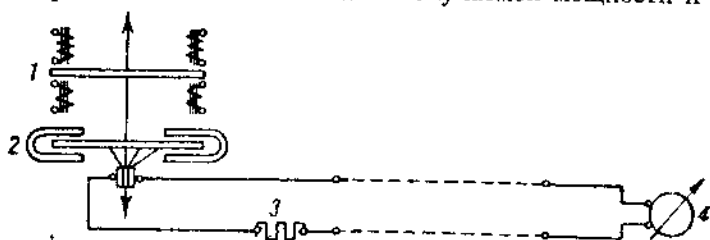
Термоумформерные устройства телеизмерения могут применяться на сравнительно небольшие расстояния, так как напряжение, получаемое от термоумформера, невелико. Также невелика и точность телеизмерения (погрешность 2—2,5%). Поэтому термоумформеры при

¹ Изготавливаются фирмами Линкольн в США и Кембридж К^о в Англии.

телеизмерении применяются обычно в соединении с автоматическими потенциометрами в качестве приемных приборов. Схема такого включения будет рассмотрена несколько ниже, при описании компенсационных устройств телеизмерения.

Недостатком термоумформерных устройств телеизмерения является большое время установки, которое получается вследствие тепловой инерции передатчика и доходит до 30—35 сек. Недостатком является также необходимость тщательной градуировки устройства при включении. Градуировка необходима при перегорании и замене термпар.

Суммирование в термоумформерных устройствах производится путем сложения напряжений, даваемых термоумформерами. Оно связано, так же как и в устройствах с твердыми выпрямителями, с некоторыми ограничениями в отношении получаемой мощности и возмож-



Фиг. 28. Принципиальная схема телеизмерения по генераторному методу.

1 — счетчик переменного тока; 2 — генератор постоянного тока; 3 — дополнительное сопротивление, 4 — приемный прибор.

ности дальнейшей передачи. Эти ограничения отпадают при применении в качестве приемных приборов автоматических потенциометров (см. стр. 98).

Передача величин, изменяющих свое направление, а также передача нулевого отсчета в термоумформерных устройствах невозможна. Регистрация в месте приема возможна только при помощи точечных приборов.

Требования к использованию линий связи предъявляются те же, что и в выпрямительных устройствах.

в) Генераторные устройства телеизмерения¹. В генераторном методе телеизмерения, предложенном фирмой «Арон-Верке» в Германии, для преобразования измеренной величины служит небольшой мотор-генератор. Этот мотор-генератор состоит из индукционного счетчика 1, на ось которого насажен ротор генератора постоянного тока 2 типа счетчика амперчасов (фиг. 28).

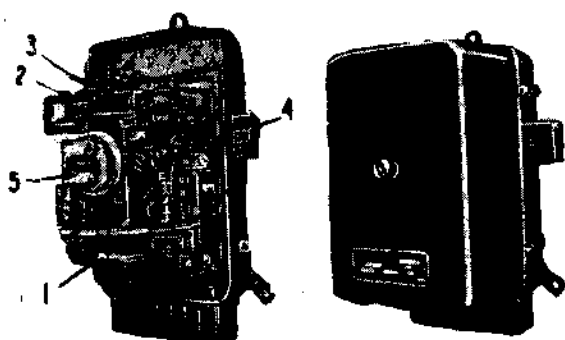
Индукционный счетчик в зависимости от схемы включения может служить для измерения активной или реактивной мощности, напряжения или тока. Скорость вращения его оси пропорциональна измеряемой величине. При измерении мощности эта пропорциональность будет прямой, при измерении тока и напряжения — квадратичной.

При изменении скорости вращения счетчика одновременно изменяется и напряжение, даваемое генератором постоянного тока. Так как

¹ В СССР изготовляются мастерскими Мосэнерго.

это напряжение пропорционально скорости вращения оси счетчика, то оно может служить мерилом измеряемой величины. Напряжение генератора измеряется через линию связи и балластное сопротивление 3 приемным прибором 4, отклонения стрелки которого получаются пропорциональными скорости вращения оси счетчика.

На фиг. 29 изображен передатчик в изготовлении фирмы Арон-Верке. Передатчик Мосэнерго представляет собой обычный трехфазный счетчик переменного тока завода «Электроприбор» типа И, на ось которого насажен второй диск с плоскими обмотками и коллектором, вращающийся в поле постоянных магнитов и служащий генератором постоянного тока. Приемным прибором служит нормальный магнитоэлектрический прибор того же завода «Электроприбор», у которого путем перемотки катушек несколько повышена чувствительность. Передатчик Мосэнерго дает напряжение около 400 mV. Номинальная сила тока при телеизмерении составляет около 0,2 mA. Напряжение, даваемое генератором передатчика



Фиг. 29. Передатчик генераторного устройства телеизмерения фирмы Арон-Верке.

1 — счетчик переменного тока; 2 — генератор постоянного тока; 3 — щетка генератора; 4 — клеммы для присоединения линии связи; 5 — регулировочное сопротивление.

фирмы Арон-Верке, составляет около 1 V и сила тока около 1 mA. Количество энергии, даваемое передатчиком, таким образом, невелико и для приема приходится применять приборы большой чувствительности. Регистрация вследствие этого может производиться только на приборах с точечной записью.

Малое количество энергии, получаемое в генераторных устройствах телеизмерения, объясняется не только незначительностью потребления передатчика, но также и тем, что основное торможение диска передатчика должно быть в несколько раз больше, чем торможение от нагрузки генератора. В противном случае изменения этой нагрузки вследствие температурных изменений сопротивлений в цепи телепередачи могли бы заметно влиять на скорость вращения счетчика.

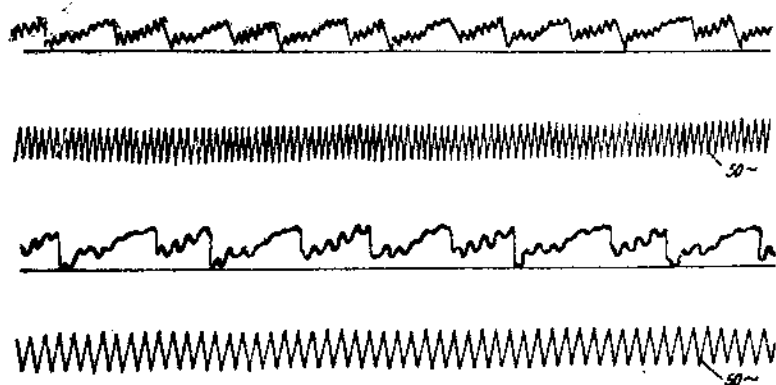
Для избежания погрешности от температурных изменений сопротивления линии связи в генераторных устройствах так же, как в выпрямительных и термоумформерных, последовательно с линией связи включается балластное сопротивление.

Генератор постоянного тока представляет собой диск, на который накладываются плоские катушки, вращающиеся в поле постоянных магнитов. По конструктивным соображениям такой генератор выполняется обычно с тремя обмотками и трехпластинчатым коллектором. Ток, получаемый от такого генератора, имеет сильные пульсации (фиг. 30). Это при малых нагрузках вызывает колебания стрелки ука-

зательного прибора, которые устраняются обычно увеличением успокоения прибора. Время установки в генераторных устройствах телеизмерения поэтому несколько больше, чем в выпрямительных.

Некоторые затруднения доставляет также переходное сопротивление щеток генератора, которое вследствие малого напряжения, даваемого генератором, становится ощутительным и может повести к неправильным укаваниям. В связи с этим для коллекторов генератора обычно употребляют металл, абсолютно не подверженный окислению, а при эксплуатации тщательно предохраняют коллекторы от загрязнения.

Передачик генераторного телеизмерения представляет собой вместе с этим чрезвычайно простой и требующий весьма малого обслуживания прибор, для которого к тому же не нужно никаких вспомога-



Фиг. 30. Пульсация тока в генераторном методе телеизмерения.

тельных источников питания. При сообщении счетчику небольшого самохода можно получить передачу нулевого значения измеряемой величины некоторым значением тока. Телеизмерение величин, изменяющих свое направление, осуществляется без всяких дополнительных приспособлений. При изменении направления измеряемой величины изменяется также и направление вращения счетчика. Вместе с этим изменяется и направление генерируемого постоянного тока. Стрелка приемного прибора, который в этом случае выполняется с нулем посередине, будет при этом отклоняться в другую сторону.

В отношении использования линий связи генераторные устройства предъявляют те же требования, что выпрямительные и термоумформерные устройства: для них нужен канал постоянного тока и линия, не подразделенная трансформаторами.

Следует указать, что пульсации тока, даваемые генератором, могут вызывать влияние на соседние телефонные цепи, и поэтому линию связи, по которой происходит телеизмерение, приходится снабжать простейшими фильтрами для задержки высших гармоник телеизмерительного тока.

Суммирование в генераторных устройствах телеизмерения производится путем сложения напряжений отдельных генераторов. Это суммирование вследствие малой мощности, даваемой генераторами, связано, однако, с определенными ограничениями. Получение частичных сумм, как будет показано в главе о суммировании, связано с некоторыми дополнительными погрешностями и требует применения генераторов с двумя обмотками, из которых одна используется для образования общей суммы, а другая — для частичных сумм или же для индивидуальных указаний.

Недостатки генераторного метода телеизмерений те же самые, что выпрямительного и термоумформерного. Этими недостатками являются: малая мощность, даваемая передатчиком, и зависимость от изменения утечки и сопротивления линии связи. К этому нужно прибавить еще наличие вращающихся частей, которые подвержены износу и требуют периодической регулировки передатчика, а через определенные промежутки времени и ремонта его. Этот износ, однако, не больше, чем у обычных счетчиков. Регулировка и ремонт требуются поэтому сравнительно редко.

Точность телеизмерения генераторного типа зависит от соотношения между величиной сопротивления линии связи, обмоток генератора и приемного прибора, с одной стороны, и величиной дополнительного сопротивления — с другой. Это соотношение в свою очередь зависит от чувствительности приемных приборов, их внутреннего сопротивления и числа. В среднем точность телеизмерения по генераторному методу можно считать равной $\pm 2,0\text{--}2,5\%$ (без учета утечек в линии).

13. Методы сопротивления и потенциометра

Показания измерительного прибора можно передавать путем телеизмерения угла отклонения его стрелки. Такой способ, применяемый в ряде устройств, имеет то преимущество, что в этом случае телеизмерение не связано с родом измеряемой величины и нужно только, чтобы она измерялась прибором, дающим отклонение стрелки. Один из таких способов — индукционно-выпрямительный — был рассмотрен выше. В настоящем разделе рассматриваются способы, в которых измерение отклонения стрелки прибора производится путем изменения связанного с ней сопротивления.

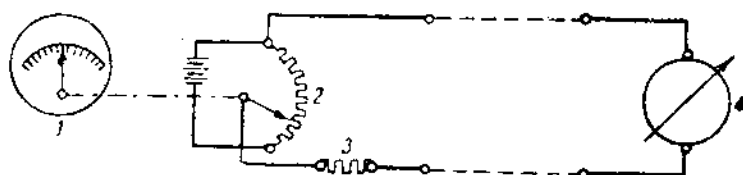
Телеизмерительные устройства, построенные по этому методу, можно разделить на две группы:

- а) потенциометрические и
- б) с реостатными передатчиками.

а) Потенциометрические устройства. Принципиальная схема потенциометрического устройства изображена на фиг. 31. Стрелка измерительного прибора 1 связана с движком потенциометра 2. При своем отклонении она перемещает этот движок и изменяет величину напряжения на линии связи.

Помимо общих недостатков, присущих всем некомпенсированным устройствам телеизмерения, потенциометрические устройства имеют еще и тот недостаток, что точность телеизмерения зависит от постоянства напряжения вспомогательного источника тока.

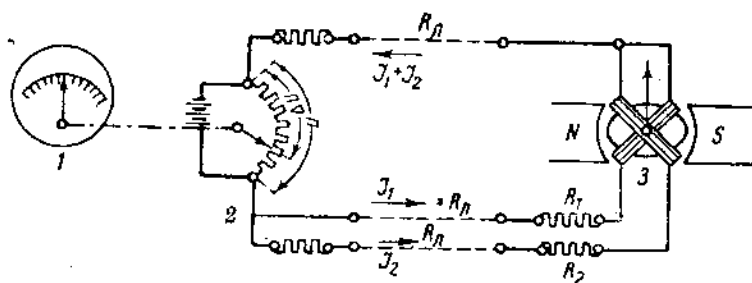
Для исключения этой зависимости приходится стабилизировать или напряжение источника тока или ток, протекающий через потенциометр. В последнем случае потенциометр должен быть выполнен из материала с малым температурным коэффициентом. Помимо стабилизирующих устройств применяют также схемы с логометрическими приборами (фиг. 32). Эти приборы отличаются от обычных тем, что у них уравнивание момента измерительной рамки производится не пружинкой, а второй рамкой, плотно скрепленной с первой рамкой и расположенной под некоторым углом к ней. Интенсивность магнитного поля полюсов прибора имеет максимальную величину посередине, а к краям убывает (логометр по Бругеру). Если момент измерительной рамки преобладает, то под действием разности моментов измерительная



Фиг. 31. Принципиальная схема тeldenзмерения по потенциометрическому методу.

1 — измерительный прибор; 2 — потенциометр; 3 — баластное сопротивление; 4 — приемный прибор.

жонкой, а второй рамкой, плотно скрепленной с первой рамкой и расположенной под некоторым углом к ней. Интенсивность магнитного поля полюсов прибора имеет максимальную величину посередине, а к краям убывает (логометр по Бругеру). Если момент измерительной рамки преобладает, то под действием разности моментов измерительная



Фиг. 32. Принципиальная схема потенциометрического устройства тeldenзмерения с логометром.

1 — измерительный прибор; 2 — потенциометр; 3 — логометр.

система приходит в движение, причем измерительная рамка переходит в поле меньшей интенсивности и ее момент уменьшается, а уравнивающая рамка перемещается к центру поля, и ее момент увеличивается. В некотором положении моменты обеих рамок уравниваются, и измерительная система установится.

Если питать уравнивающую рамку от того же источника, что и измерительную (фиг. 32), то показания прибора получаются независимыми от изменения напряжения источника тока. Колебания этого напряжения вызывают одновременное и пропорциональное изменение тока в обеих рамках без изменения соотношения токов, определяющего показания прибора.

При величине сопротивления потенциометра, достаточно малой по сравнению с величиной суммарного сопротивления цепи телеизмерения (сопротивление линии плюс сопротивление приемного конца), можно положить, что доля напряжения, отмеренная движком потенциометра, пропорциональна углу отклонения стрелки измерительного прибора¹:

$$U_1 = \alpha U.$$

В этом случае можно написать

$$\begin{aligned} U &= I_1(2R_A + R_1) + I_2 R_A; \\ \alpha U &= I_2(2R_A + R_2) + I_1 R_A, \end{aligned}$$

где U — напряжение вспомогательного источника тока;

I_1 и I_2 — токи в рамках логометра;

R_1 и R_2 — сопротивления в цепях рамок логометра, включая и сопротивление самих рамок;

R_A — сопротивление проводов линии связи;

α — относительный угол перемещения движка потенциометра.

Отсюда

$$I_1 = U \frac{(2R_A + R_2) - \alpha R_A}{(2R_A + R_1)(2R_A + R_2) - R_A^2}$$

и

$$I_2 = U \frac{\alpha(2R_A + R_1) - R_A}{(2R_A + R_1)(2R_A + R_2) - R_A^2}.$$

Отклонение стрелки логометра пропорционально отношению токов:

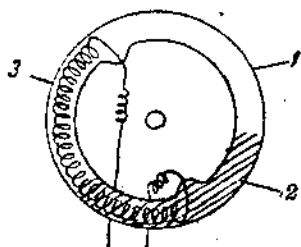
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\alpha(2R_A + R_1) - R_A}{(2R_A + R_2) - \alpha R_A}.$$

Это отношение будет равно отношению напряжений (α) только при условии, что $R_1 = R_2$ и что сопротивлением линии можно пренебречь по сравнению с величиной баластных сопротивлений, т. е. что $R_A : R_1 \approx \approx 0$. Написанное выше выражение для соотношения токов говорит, что показания логометра действительно не зависят от напряжения, но что пропорциональная шкала получается только при очень малых сопротивлениях линии связи. Из этого выражения следует также, что температурные колебания сопротивления линии связи, изменяя отношение токов в рамках логометра, вносят дополнительную погрешность телеизмерения.

При применении потенциометрических устройств для передачи показаний электрических приборов возникают затруднения в отношении конструктивного выполнения потенциометров. Последние должны быть выполнены так, чтобы, с одной стороны, обеспечивать хороший контакт с движком, а с другой стороны, не требовать большого момента при перемещении движка.

¹ В этом случае так называемая «погрешность схемы», получающаяся вследствие дополнительного падения напряжения от измерительного тока, в одном из плечей потенциометра равна нулю.

Имеются два способа выполнения сопротивления. В первом способе, применяемом фирмой Гартман и Браун, в качестве сопротивления применяется тороид с намотанной на него платино-иридиевой проволокой, по которому скользит щетка, соединенная с осью измерительного прибора. В другом способе, применяемом фирмой Сименс, в качестве сопротивления применяется так называемая «кольцевая трубка». Последняя представляет собой стеклянную трубку, заполненную наполовину водородом и наполовину ртутью и согнутую в кольцо (фиг. 33). В трубке находится металлическая спираль, которая при вращении ее замыкается накоротко в большей или меньшей своей части ртутью и таким образом изменяет свое сопротивление¹.



Фиг. 33. Кольцевая трубка.

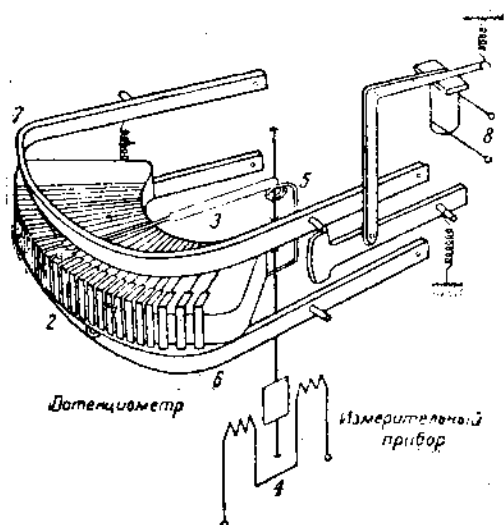
1 — стеклянная трубка; 2 — ртуть; 3 — спираль.

Сопротивления, выполненные обоими способами, все же требуют от измерительного прибора значительного усилия, благодаря чему они получили распространение главным образом применительно к неэлектрическим приборам, обладающим большим моментом.

По конструктивным соображениям сопротивление тороида и кольцевой трубки не удастся сделать большим, кроме того, потери в этих сопротивлениях ограничены вследствие трудности отвода тепла от них, поэтому величина напряжения на потенциометре не может быть выбрана большой, а этим ограничивается дальность телеизмерения.

Для передачи показаний электрических приборов фирмой Сименс разработана конструкция потенциометра, в которой перестановка щетки осуществляется без всякого трения и который, кроме того, не имеет указанных ограничений в отношении мощности.

Принцип действия этого потенциометра изображен на фиг. 34. Потенциометр состоит из сопротивления 1, намотанного на дугообразном изолирующем основании. С верхней и нижней стороны этого основа-



Фиг. 34. Принцип действия потенциометра с двойной падающей дужкой.

1 — потенциометр; 2 — нижняя стрелка; 3 — верхняя стрелка; 4 — рамка измерительного прибора; 5 — пружинка; 6 — нижняя дужка; 7 — верхняя дужка; 8 — электромагнит, приводящий в движение падающие дужки.

¹ В СССР кольцевые трубки изготавливаются заводом «Тизприбор».

ния перемещаются две измерительные стрелки 2 и 3. Одна из этих стрелок (2) связана с рамкой 4 измерительного прибора, другая же (3) связана с первой при помощи пружинки 5. Стрелки 2 и 3 периодически (через 10 сек.) прижимаются к сопротивлению дужками 6 и 7, приводимыми в движение электромагнитом 8. В отпущенном состоянии стрелки могут двигаться совершенно свободно, не скользя по сопротивлению.

Действие потенциометра происходит следующим образом: пусть стрелка 2, связанная с рамкой прибора, прижата в какой-либо момент времени нижней дужкой 6 к сопротивлению. Верхняя дужка 7 в этот момент приподнята, благодаря чему стрелка 3, находящаяся в свободном положении, занимает под действием пружинки 5 то же положение, что и стрелка 2 (фиг. 35, а). Предположим, что показания измерительного прибора изменились. Через некоторый момент времени дужка 6, перемещаясь под действием электромагнита вниз, освободит стрелку 2,



Фиг. 35. Перемещение стрелок в потенциометре с двойной падающей дужкой.

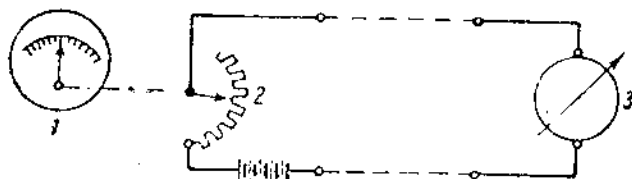
в то время как верхняя дужка 7, двигаясь в том же направлении, прижмет к сопротивлению стрелку 3 (фиг. 35, в). В переходный момент обе стрелки будут прижаты к сопротивлению одновременно (фиг. 35, б). Стрелка 2, получив свободу, передвинется в положение, соответствующее новому значению измеряемой величины (фиг. 35, в). Это перемещение произойдет без перерыва тока в линии, так как в это время к потенциометру будет прижата стрелка 3, фиксирующая прежнее положение стрелки 2. Через некоторый промежуток времени нижняя дужка опять прижмет стрелку 2 к сопротивлению, а верхняя дужка освободит стрелку 3 (фиг. 35, д). Стрелка 3 переместится при этом под действием пружинки 5 в положение, одинаковое с положением стрелки 2, и т. д.

Таким образом перемещение стрелки измерительного прибора происходит в описанном потенциометре без всякого трения и без перерыва тока в линии. Необходимое для обеспечения хорошего контакта давление на потенциометр получается при помощи падающих дужек за счет посторонней энергии. Эти преимущества получаются, однако, за счет отказа от непрерывного телеизмерения, так как стрелка измерительного прибора получает свободу и перемещается в положение, соответствующее существующему значению измеряемой величины, только через определенные промежутки времени. В связи с этим показания приемного прибора будут соответствовать измеряемой величине не все время, а только в те моменты, когда стрелка измерительного прибора прижимается к потенциометру после своего освобождения. Питание передающего прибора осуществляется напряжением 24 В от выпрямителя с буферной батареей. Сила тока в линии около 0,06 мА. Дополнительное сопротивление порядка 400 000 Ω . Сопротивление

линии может быть поэтому весьма велико. В качестве приемного прибора применяется нормальный прибор с подвешенной рамкой, употребляемый фирмой Сименс для измерения температур и отличающийся весьма высокой чувствительностью. Для регистрации показаний в месте приема применяется прибор с точечной записью.

Благодаря включению очень большого балластного сопротивления изменения сопротивления линии сказываются на точности передачи очень мало. Погрешность от утечки по указаниям фирмы может достигать величины в $\pm 2\%$. Кроме того, на точности передачи сказывается также и конструктивное выполнение сопротивления. Эта точность, очевидно, будет тем выше, чем больше число ступеней сопротивления. В устройстве Сименс потенциометр имеет 50 контактов, вследствие чего телеизмерение может производиться с точностью $\pm 1\%$.

Так как в потенциометрическом методе происходит по существу передача положения стрелки прибора, то он применим для передачи показаний любых приборов, в частности, для измерения переменных



Фиг. 36. Принципиальная схема устройства телеизмерения с реостатным передатчиком.

1 — измерительный прибор; 2 — сопротивление; 3 — приемный прибор.

по направлению величин. Передача нулевого тока также легко осуществима путем получения от потенциометра некоторой величины напряжения при нулевом положении стрелки.

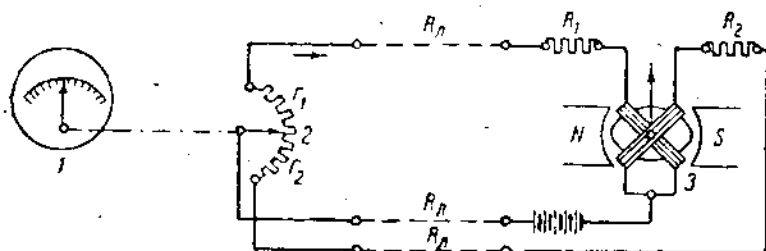
Суммирование в потенциометрическом методе осуществляется путем сложения напряжений, даваемых отдельными потенциометрами.

Телеизмерительные устройства потенциометрического типа сильно ограничивают многократность использования линий связи, требуя, так же как выпрямительные, термоумформерные и генераторные устройства, канала постоянного тока и, следовательно, линии, не подразделенной трансформаторами.

Недостатками потенциометрических устройств фирмы Сименс являются: сложность конструкции, необходимость применения весьма чувствительных приемных приборов, невозможность получения непрерывного телеизмерения.

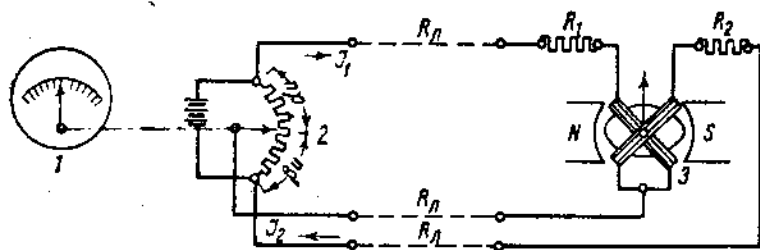
б) Устройства телеизмерения с реостатными передатчиками. Простейшая схема реостатного телеизмерительного устройства изображена на фиг. 36. Стрелка измерительного прибора при своем отклонении перемещает связанную с ней щетку, которая скользит по сопротивлению, изменяя этим силу тока в линии связи и приемном при-

Эта схема имеет ряд недостатков, делающих ее практически неприемлемой. Зависимость между отклонением стрелки первичного прибора и показанием приемника получается не линейной, так как изменение силы тока обратно пропорционально изменению сопротивления. На точности телеизмерений сказываются: переходное сопротивление щеток, изменение сопротивления линии связи и изменение напряжения вспомогательного источника тока. Практическое применение получили схемы с логометрами, в которых реостатный передатчик может служить делителем тока или напряжения или же включаться в мостиковую схему.



Фиг. 37. Устройство телеизмерения с делителем тока.

1 — измерительный прибор; 2 — делитель тока; 3 — логометр.



Фиг. 38. Устройство телеизмерения с делителем напряжения.

1 — измерительный прибор; 2 — делитель напряжения; 3 — логометр.

В схеме с делителем тока (фиг. 37) движок реостата, перемещаемый стрелкой измерительного прибора, меняет величину сопротивления в цепи рамок логометра. Токи в рамках прибора изменяются при этом обратно пропорционально отношению суммарных сопротивлений в цепи рамок. Отношение этих токов, определяющее отклонение стрелки логометра, равно

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2 + R_x + R_2}{r_1 + R_x + R_1}.$$

Это отношение, а следовательно, и показания логометра не зависят от величины вспомогательного напряжения. Колебание сопротивления линии не оказывают влияния на показание логометра только при $R_2 = R_1$ и $r_2 = r_1$, т. е. только когда движок стоит по середине

реостата. Во всех остальных положениях движка колебания сопротивления линии связи вносят дополнительную погрешность.

В схеме с делителем напряжения (фиг. 38) измерительный прибор, перемещая движок реостата, изменяет отношение напряжений в цепях рамок логометра. Если пренебречь погрешностью схемы, то можно написать

$$\alpha U = (I_1 - I_2) R_A + I_1 (R_1 + R_A);$$

$$\beta U = (I_2 - I_1) R_A + I_2 (R_2 + R_A).$$

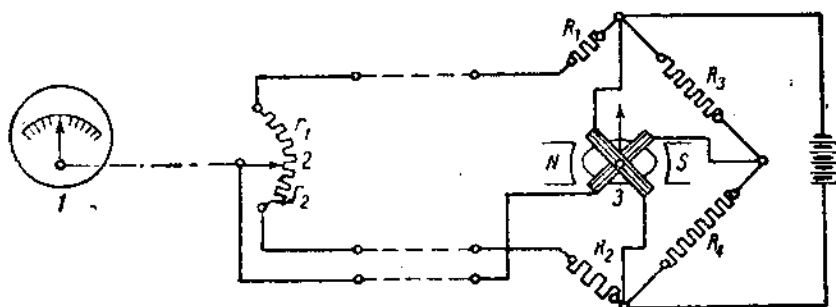
Отсюда

$$I_1 = U \frac{R_A (1 + \alpha) + \alpha R_2}{(2R_A + R_1)(2R_A + R_2) - R_A^2};$$

$$I_2 = U \frac{R_A (1 + \beta) + \beta R_1}{(2R_A + R_1)(2R_A + R_2) - R_A^2}.$$

Отношение токов

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_A (1 + \alpha) + \alpha R_2}{R_A (1 + \beta) + \beta R_1}.$$



Фиг. 39. Устройство телеизмерения с мостиковой схемой.

1 — измерительный прибор; 2 — реостатный передатчик; 3 — логометр, R_1 , R_2 , R_3 и R_4 — сопротивления плечей мостика.

Так же как в потенциометрических устройствах, для того чтобы отклонения стрелки логометра были пропорциональны положению движка потенциометра, т. е. чтобы

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\alpha}{\beta},$$

нужно иметь

$$R_1 = R_2 \text{ и } \frac{R_A}{R_2} \approx 0.$$

Показания прибора не зависят от величины вспомогательного напряжения, но изменения сопротивления линии влияют на них.

В схеме с мостиком (фиг. 39) движок реостата, перемещаемый стрелкой измерительного прибора, изменяет соотношение сопротивлений в плечах мостика и этим меняет величину тока в диагонали мостика и приемном логометре. Показания логометра не зависят от величины

вспомогательного напряжения. Колебание линии связи, однако, вносит, так же как и в устройствах с делителями тока, дополнительную погрешность.

Описанные трехпроводные схемы обладают меньшей зависимостью от изменения сопротивления линий связи, чем двухпроводные схемы, благодаря тому что в них измеряется отношение сил токов, напряжений или сопротивлений, а не абсолютные их величины. Изменения сопротивления линии связи меняют величины токов одновременно в обеих рамках логометра, поэтому эти изменения сказываются лишь постольку, поскольку в цепь рамок включены неодинаковые сопротивления реостатного передатчика. Благодаря этому суммарные изменения сопротивлений для обеих рамок при одинаковом изменении сопротивления линий связи получаются неодинаковыми, и показания приемного прибора изменяются. Однако частичными компенсационными способностями трехпроводные схемы обладают, благодаря чему они дают большую точность телеизмерения.

Необходимость прокладки трех отдельных проводов для каждого телеизмерительного устройства, трудность выполнения реостатных передатчиков с небольшим моментом и невозможность суммирования ограничивают область применения этих устройств в энергосистемах. Ими измеряют, главным образом, неэлектрические величины на небольшие расстояния (обычно в пределах одной установки).

ГЛАВА V

КОМПЕНСАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

14. Устройства с реостатными регуляторами

Как уже говорилось в первом разделе, компенсационные устройства телеизмерения были вызваны к жизни стремлением избавиться от влияния изменений сопротивления линий связи и колебаний напряжения вспомогательных источников тока. Энергия телеизмеряемой величины служит в этих устройствах только для управления величиной энергии, посылаемой по линии, которая берется от вспомогательного источника тока. Это дает возможность при очень малой нагрузке измерительного прибора получить на линии и в приемном приборе практически любое желаемое количество энергии.

Передача телеизмеряемой величины производится при помощи специальных регуляторов, устанавливающих силу линейного тока в соответствии с телеизмеряемой величиной.

Применение регуляторов для измерительных целей уже давно известно и употребляется в ряде методов точных измерений.

Телеизмерительная техника использует в основном эти же методы, применяя в некоторых случаях целиком и конструкции регуляторов, употребляемых в измерительной технике (например, автоматические потенциометры фирмы Лидс и Нортруп и Гартман и Браун).

Регуляторы компенсационных устройств телеизмерения сравнивают силу тока, поступающего в линию, с измеряемой величиной. Если сила этого тока не соответствует измеряемой величине, то регу-

лятор приходит в действие и изменяет силу тока в линии до тех пор, пока она не придет в соответствие с измеряемой величиной.

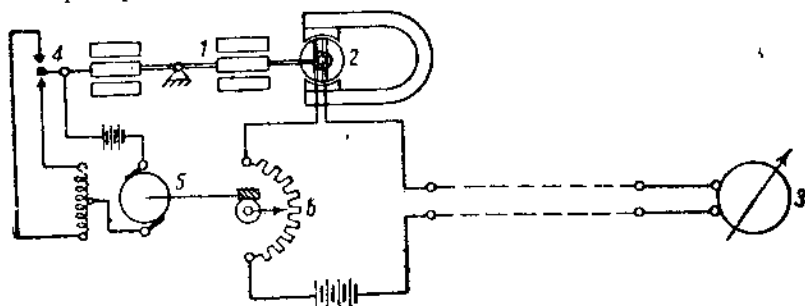
Таким образом в конструктивном отношении передатчик компенсационного устройства телеизмерения должен иметь два органа: орган сравнения и орган регулирования.

Выполнение органов сравнения различается, главным образом, по способу измерения сравниваемых величин. Здесь различают:

- а) следящие устройства;
- б) моментные весы;
- в) сравнение скоростей.

В первом способе сравниваются положения стрелок двух измерительных приборов, из которых один измеряет регулируемую силу тока в линии связи, а другой — первичную телеизмеряемую величину.

Во втором способе производится сравнение моментов, даваемых этими приборами. Наконец, в третьем способе измерение сравнивае-



Фиг. 40. Принципиальная схема компенсационного устройства телеизмерения с вспомогательным моторчиком и моментными весами (фирмы Вестингауз).

1 — весы Кельвина; 2 — магнито-электрический прибор; 3 — приемный прибор;
4 — контакты подвижной части весов Кельвина; 5 — вспомогательный моторчик;
6 — реостат.

мых величин производится вращающимися приборами типа счетчиков, сравнивающий же орган производит сравнение скоростей вращения этих приборов.

В компенсационных устройствах телеизмерения с реостатными регуляторами применяются два способа сравнения:

- а) способ моментных весов и
- б) следящие устройства.

а) Компенсационные устройства с моментными весами. Принципиальная схема телеизмерительного устройства с моментными весами и вспомогательным моторчиком изображена на фиг. 40. Такое устройство изготавливается фирмой Вестингауз и является одним из первых телеизмерительных устройств компенсационного типа.

Телеизмеряемая величина измеряется элементом сбалансированного кельвиновского ваттметра 1, основанного на принципе действия электродинамических весов Кельвина. Момент, даваемый этими весами, уравнивается моментом, развиваемым компенсирующим

прибором 2 магнитоэлектрического типа, рамка которого включена последовательно с линией связи и приемным прибором 3. Подвижная часть кельвиновского элемента несет контакт 4, который при равновесии моментов элемента Кельвина и компенсирующего прибора находится в своем среднем положении. При нарушении этого равновесия подвижная часть элемента, перемещаясь вверх или вниз, замыкает верхний или нижний контакт и включает моторчик 5. Этот моторчик, вращаясь в том или другом направлении в зависимости от того, какие контакты замкнуты, перемещает движок реостата 6, включенного в линию, и регулирует этим ток, протекающий через приемный прибор и рамку компенсирующего прибора. Направление тока в рамке последнего выбрано таким образом, что она всегда противодействует движению подвижной части элемента Кельвина. При нарушении равновесия моторчик будет переставлять движок реостата до тех пор, пока компенсирующий прибор не уравнивает действие кельвиновского элемента и не заставит его разомкнуть свои контакты. Так как момент компенсирующего прибора прямо пропорционален протекающему через его рамку току, а момент, даваемый весами Кельвина, пропорционален измеряемой величине, то сила тока в линии и приемном приборе, а вместе с тем и отклонение стрелки этого прибора будут также пропорциональны измеряемой величине.

Изменение сопротивления линии или изменение напряжения вспомогательного тока будут вызывать изменение силы линейного тока, протекающего через приемный прибор и рамку компенсирующего прибора. При этом изменится момент, даваемый этим прибором, что вызовет нарушение равновесия между ним и подвижной частью кельвиновского элемента. Эта часть переместится вверх или вниз и, замкнув контакты 4, включит моторчик 5, который отрегулирует величину тока в линии и в приемном приборе снова до прежнего значения. При этом изменение сопротивления линии связи или изменение напряжения вспомогательного источника тока будет скомпенсировано введением в цепь линии связи или выведением из нее некоторой величины сопротивления реостата 6. Таким образом показания прибора 3 получаются независимыми от изменения сопротивления линии связи и колебаний напряжения вспомогательного источника тока. С этой точки зрения компенсационные устройства телеизмерения можно уподобить некомпенсированным устройствам с бесконечно большим балластным сопротивлением, по отношению к которому всеми колебаниями сопротивления телеизмерительной цепи можно пренебречь. Изменение утечки в линии будет, однако, вызывать погрешности так же, как и в некомпенсированных устройствах телеизмерения. Ток, протекающий через рамку компенсационного прибора, будет в этом случае не равен току, протекающему через приемный прибор, так как часть его будет ответвляться через утечку в линии помимо приемного прибора. В частности, вследствие этого на точность телеизмерения будет влиять и изменение сопротивления линии связи, поскольку оно будет изменять величину утечки в линии. Это влияние, однако, невелико.

Недостатком описанного устройства телеизмерения является большое время установки. В телеизмерительном устройстве фирмы Вес-

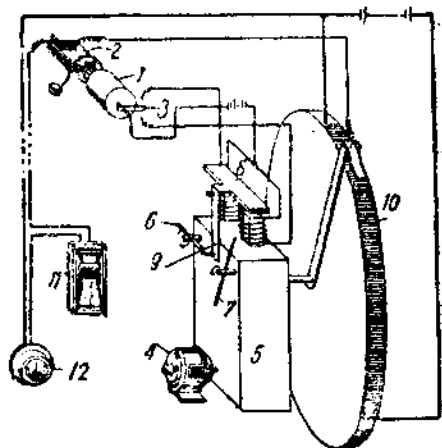
тингауз время установки составляет около 10 сек. Величина времени установки зависит от скорости вращения моторчика 5 и получается тем меньше, чем больше эта скорость. Скорость вращения моторчика 5 ограничивается, однако, величиной зазора между контактами 4. Вследствие инерции мотор переставливает сопротивление 6 всегда несколько больше, чем это нужно. Благодаря этому подвижный контакт 4 переходит среднее положение в направлении к противоположному контакту. Так как замыкание этого контакта не должно произойти, то контакты 4 должны иметь определенный зазор, величина которого будет тем больше, чем больше скорость вращения моторчика 5. Чем больше, однако, зазор между контактами, тем больше получается нечувствительность прибора и погрешность телеизмерения, так как при большом зазоре подвижной элемент кельвиновского прибора должен получить большее отклонение, для того чтобы замкнуть контакты.

Поэтому телеизмерительные устройства с вспомогательным моторчиком ограничены определенной величиной как в отношении времени установки, так и в отношении точности телеизмерения. В описанном выше устройстве фирмы Вестингауз погрешность составляет $\pm 2\frac{1}{2}$ —3%.

Сила тока в линии составляет 20 мА. Регистрация в месте приема может производиться поэтому на приборе с непрерывной записью.

Описанное устройство позволяет удобно осуществлять суммирование на передающей стороне путем механического соединения подвижных частей кельвиновских элементов друг с другом. Сумма получаемых моментов уравнивается моментом общего магнитно-электрического прибора. Сила тока в линии и показания приемного прибора получаются при этом пропорциональными суммарному моменту и сумме измеряемых величин. Суммирование на приемной стороне производится при помощи сложения токов, даваемых отдельными передатчиками.

Для уменьшения времени установки телеизмерительных устройств с вспомогательным моторчиком фирма Гартман и Браун применяет другое конструктивное выполнение устройства, переставливающего движок реостата (фиг. 41). Моторчик находится здесь в постоянном вращении. Рукоятка реостата связана с ним через двойную дифференциальную передачу 5 и находится на средней шестерне этой передачи.

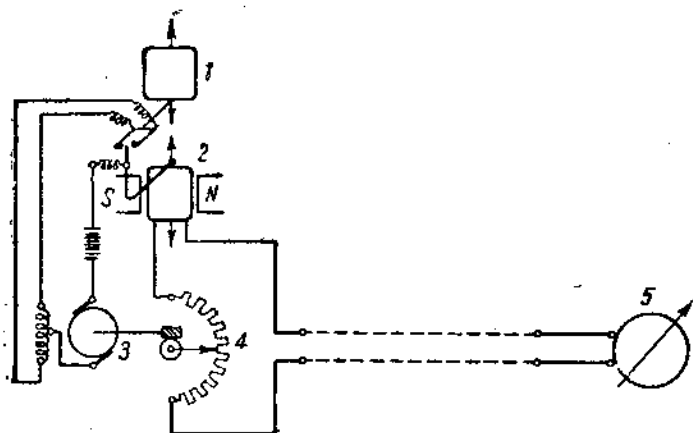


Фиг. 41. Компенсационное устройство телеизмерения фирмы Гартман и Браун.

1 — измерительный прибор; 2 — компенсационный прибор; 3 — контактная система; 4 — моторчик; 5 — двойная дифференциальная передача; 6 и 7 — рычаги дифференциальной передачи; 8 — коромысло электромагнита; 9 — затормаживающий рычаг; 10 — потенциометр; 11 — самопишущий приемный прибор; 12 — указывающий приемный прибор.

Наружные шестерни снабжены рычагами 6 и 7, вращающимися в противоположные стороны. Моментные весы при нарушении равновесия, замыкая свои контакты, включают одну из катушек электромагнита 8. При этом коромысло электромагнита с рычагом 9, отклоняясь в ту или другую стороны, затормаживает движение одного из рычагов 6 или 7 и прекращает таким образом вращение одной из наружных шестерен дифференциала. Средняя шестерня дифференциала приходит при этом в движение и переставляет рукоятку реостата в ту или другую сторону.

Так как моторчик вращается непрерывно, то описанное устройство не требует времени для разгона мотора и вследствие этого дает меньшее время установки, чем устройство Вестингауз.



Фиг. 42. Принципиальная схема компенсационного устройства телеизмерения с вспомогательным мотором и следящей системой.

1 — измерительный прибор; 2 — компенсирующий магнито-электрический прибор; 3 — моторчик; 4 — реостат, регулирующий силу тока в линии связи; 5 — приемный прибор.

б) Компенсационные устройства телеизмерения со следящей системой. Принципиальная схема устройства со следящей системой изображена на фиг. 42. Принцип действия этого устройства в исполнении фирмы Эвершед и Виньольт одинаков с описанным выше принципом действия устройства Вестингауз и отличается только тем, что включение моторчика производится не от моментных весов, а от специальной следящей системы. Рамки измерительного и компенсационного приборов снабжены стрелками, несущими на себе контакты. Стрелка измерительного прибора 1 выполнена в виде контактной вилки. Стрелка компенсационного прибора 2 перемещается внутри этой вилки.

При соответствии силы линейного тока измеряемой величине стрелка компенсационного прибора будет иметь то же самое угловое отклонение, что и стрелка измерительного прибора, и будет находиться между контактами вилки. При изменении измеряемой величины контактная вилка, перемещаясь в соответствии с этим изменением, наты-

кается на находящуюся внутри нее стрелку компенсационного прибора и, замыкая ее контакт, включает моторчик 3. Этот моторчик приходит в движение и переставливает движок реостата 4, регулирующего силу тока в линии. Изменение силы тока будет происходить до тех пор, пока стрелка компенсационного прибора не станет снова по середине между контактами вилки. Цепь моторчика 3 при этом будет разомкнута, и он, остановившись, прекратит регулирование силы тока в линии. Стрелка компенсационного прибора 2, таким образом, как бы следит за положением стрелки измерительного прибора, благодаря чему этот способ сравнения и получил название «следающей системы».

По своим свойствам устройства телеизмерения с следающей системой аналогичны устройствам с моментными весами. Они так же, как и последние, дают большое время установки вследствие инерции переставливающего моторчика. Точность передачи, определяемая расстоянием между контактами вилки, невелика. Передача телеизмерений в обоих типах устройств может производиться только в канале постоянного тока.

В устройствах с моментными весами получение нулевого тока сопряжено с усложнением конструкции. Для этого измерительный прибор должен производить некоторый момент при нулевом значении измеряемой величины или же на ось его должен воздействовать некоторый дополнительный постоянный момент (например, от дополнительной пружинки), направленный противоположно моменту компенсационного прибора. В устройствах со следающей системой получение нулевого тока не требует дополнительных устройств. Для этого достаточно несколько сместить стрелку компенсационного прибора, чтобы в положении, соответствующем нулевому значению измеряемой величины, она имела некоторое угловое отклонение.

Компенсационные устройства с моторчиком принадлежат к одному из первых типов телеизмерительных устройств и в настоящее время технически несколько устарели. Как мы увидим из дальнейшего, компенсационные устройства телеизмерения более современных типов дают значительно лучшие показатели.

15. Компенсационные устройства телеизмерения с непосредственным регулированием

Основные недостатки описанных выше компенсационных устройств с моторчиком: большое время установки и малая чувствительность обусловлены, главным образом, применением вспомогательного устройства (моторчик) с большой инерцией. Поэтому в ряде телеизмерительных устройств были сделаны попытки обойтись без этого промежуточного звена и использовать для перестановки регулирующего устройства непосредственно разность между действием измерительного и компенсационного приборов. Такие устройства получили наименование компенсационных устройств с непосредственным регулированием.

В этих устройствах разница действий измерительного и компенсационного приборов (разность скоростей, разность моментов, разность

положений и т. п.) непосредственно воздействует на регулирующий орган, заставляя его изменять силу тока в линии. Разница между действием измерительного и компенсационного приборов в процессе регулирования стремится к нулю, причем сила воздействия на регулирующий орган, даваемая измерительным и компенсационным прибором, всегда пропорциональна величине этой разницы. Это является одновременно и преимуществом и недостатком описываемого способа телеизмерения.

Как и во всяком регуляторе, регулирование с воздействием, пропорциональным степени отклонения регулируемой величины от предписанной¹, благоприятно в отношении устойчивости регулирования. Поэтому в описываемых устройствах для получения устойчивого регулирования не приходится прибегать к искусственному угрублению передатчика в такой степени, как это приходилось делать в устройствах телеизмерения с вспомогательным моторчиком.

Недостатком пропорционального регулирования является то обстоятельство, что при уменьшении силы, воздействующей на регулирующее устройство, начинает играть роль трение. Для включения или отключения регулятора необходима определенная конечная величина разности между действием измерительного и компенсационного приборов. Эта разность никогда полностью не устраняется регулятором, а остается на некоторой величине, обуславливающей неточность телеизмерения.

В компенсационных устройствах телеизмерения с непосредственным регулированием применяется два типа сравнивающих устройств:

- а) со сравнением скоростей,
- б) с моментными весами.

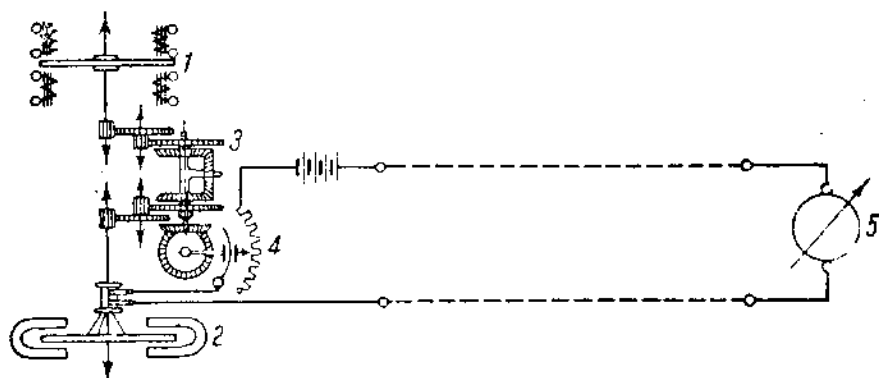
а) Устройства со сравнением скоростей. Принципиальная схема устройства телеизмерения со сравнением скоростей приведена на фиг. 43. Измерение величины, подлежащей передаче и силы линейного тока, производится вращающимися приборами типа счетчиков. Телеизмеряемая величина измеряется при помощи счетчика переменного тока 1, а сила тока, протекающего по линии и через приемный прибор, счетчиком постоянного тока 2. Скорость вращения счетчиков сравнивается при помощи дифференциального механизма 3, средняя шестерня которого соединена с движком реостата 4, регулирующего силу линейного тока. Если скорости вращения обоих счетчиков равны, т. е. если сила линейного тока соответствует измеряемой величине, то наружные шестерни дифференциала будут вращаться в разные стороны с одинаковой скоростью, а средняя шестерня будет стоять на месте. Если сила линейного тока не соответствует измеряемой величине, то скорости вращения счетчиков 1 и 2, а вместе с тем и наружных шестерен дифференциала, будут не равны друг другу. Средняя шестерня дифференциала придет при этом в движение и будет переставлять движок реостата, изменяя силу тока в линии и счетчике 2. Это изменение будет происходить до тех пор, пока скорость вращения счетчика

¹ В данном случае предписанная величина задается измерительным прибором.

постоянного тока снова не станет равной скорости вращения счетчика 1, а сила тока, протекающего по линии, не придет в соответствие с измеряемой величиной.

Изменение линейного сопротивления или напряжения вспомогательного тока будут так же, как и в описанных выше компенсационных устройствах с моторчиком, автоматически компенсироваться изменением сопротивления реостата 4.

Прежде чем переходить к описанию других устройств телеизмерения с непосредственным регулированием, рассмотрим некоторые общие свойства компенсационных устройств этого типа.



Фиг. 43. Принцип действия компенсационного устройства телеизмерения со сравнением скоростей.

1 — измерительный счетчик; 2 — компенсационный счетчик; 3 — дифференциальный механизм; 4 — реостат; 5 — приемный прибор.

Предположим, что измеряемая величина получила некоторое приращение и счетчик 1 увеличил свое число оборотов. Счетчик 2 некоторое время будет сохранять свое прежнее число оборотов. Средняя шестерня дифференциала придет в движение и станет переставлять движок реостата 4, увеличивая силу тока в линии.

Одновременно будет увеличиваться число оборотов счетчика 2, постепенно приближаясь к числу оборотов счетчика 1. Скорость движения средней шестерни дифференциала, а с ней и скорость перестановки движка реостата 4 будут уменьшаться, постепенно приближаясь к нулю.

Максимальная скорость перестановки движка реостата будет, таким образом, иметь место только в самом начале процесса. Если бы эта максимальная скорость оставалась постоянной во время всего процесса регулирования, то для отрегулирования силы тока в линии понадобилось бы некоторое время T (фиг. 44), которое носит название «постоянной времени» регулирующего устройства. Обозначим отношение разности между силой тока, существующей в данный момент в линии, и силой линейного тока, соответствующей новому значению измеряемой величины, к максимальной разности, имеющей место в первый момент, через α :

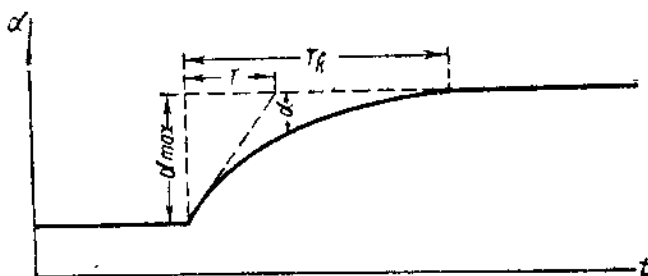
$$\alpha = \frac{\Delta i}{\Delta i_{\max}}.$$

Сформулированный выше характер изменения скорости перестановки движка реостата в зависимости от величины отклонения от состояния соответствия, может быть выражен следующим уравнением:

$$\frac{da}{dt} = -\frac{1}{T} a,$$

где $\frac{da}{dt}$ — скорость изменения силы тока в линии, или, что все равно, скорость перестановки движка реостата Δ ;

$\frac{1}{T}$ — максимальная скорость перестановки (знак минус поставлен потому, что скорость перестановки всегда противоположна отклонению, так как регулирующее устройство всегда стремится уменьшить величину отклонения).



Фиг. 44. Протекание процесса регулирования.

Разделим переменные и проинтегрируем написанное выше выражение:

$$\frac{da}{a} = -\frac{1}{T} dt,$$

или

$$\ln a = C - \frac{t}{T},$$

отсюда

$$a = e^{C - \frac{t}{T}},$$

т. е. величина отклонения при сформулированном выше пропорциональном характере регулирования будет изменяться во времени по закону экспоненциальной кривой:

для $t = 0$

$$a_{t=0} = e^C = a_{\max},$$

поэтому

$$a = a_{\max} e^{-\frac{t}{T}}.$$

Время установки равно, как уже говорилось выше, времени, которое необходимо для того, чтобы величина отклонения уменьшилась до 0,01 максимального отклонения. Таким образом

$$\frac{a}{a_{\max}} = e^{-\frac{T_{\kappa}}{T}} = 0,01,$$

где T_{κ} — время установки. Отсюда

$$T_{\kappa} = -T \ln 0,01 = 4,6 T.$$

Таким образом время установки получается прямо пропорциональным постоянной времени регулирующего устройства.

Для того чтобы уменьшить постоянную времени, а вместе с ней и время установки телеизмерительного устройства, необходимо, как это явствует из приведенного выше определения постоянной времени, увеличить начальную скорость регулирования. Это увеличение имеет, однако, свой предел. С одной стороны, этот предел диктуется величиной момента, даваемого измерительным и компенсационным приборами (на фиг. 43 счетчиками) на свои оси, так как при большей скорости перестановки возрастает и величина силы трения. С другой стороны, этот предел диктуется опасностью перерегулирования.

В приведенном выше выводе не учитывалось влияние массы переставляемых частей. Если кинетическая энергия движущихся частей велика по сравнению с силой трения, то процесс регулирования может иметь колебательный характер, который может быть при неблагоприятных соотношениях и незатухающим. В большинстве устройств телеизмерения такая опасность, однако, не имеет места.

б) Устройства с непосредственным регулированием от моментных весов. В этом типе устройств величины моментов, даваемых измерительным и компенсационным приборами, невелики. Ввиду этого в качестве регулирующей аппаратуры применяются в большинстве случаев электронные приборы.

На фиг. 45 изображена принципиальная схема фото-компенсационного устройства «телеизмерения», разработанного ВЭИ¹.

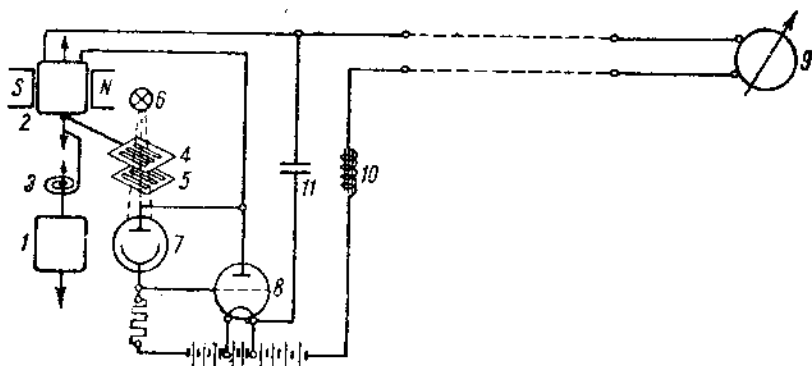
Передачик фото-компенсационного устройства ВЭИ представляет собой две рамки измерительных приборов 1 и 2, соединенных между собой пружинкой 3. Рамка 1 принадлежит прибору, измеряющему величину, подлежащую передаче на расстояние, а рамка 2 — компенсационному прибору магнитоэлектрического типа. Рамка последнего включена в линию связи и через нее проходит ток приемного прибора 9.

На оси рамки 2 помещена подвижная решетка 4 с тремя отверстиями. Эта решетка движется над неподвижной решеткой 5, меняя освещенность фотоэлемента 7 от источника света 6. Фотоэлемент меняет при этом смещающий потенциал на сетке лампы 8, регулируя ток в ее анодной цепи. Вращающий момент рамки 1 передается рамке компенсационного прибора 2 и, перемещая решетку 4, изменяет анодный

¹ Устройства подобного типа изготавливаются фирмой Кембридж К° и разработаны, кроме того, Научно-исследовательским институтом телемеханики (НИИТ).

ток электронной лампы 8 до тех пор, пока этот ток, проходя по рамке 2, не уравнивает вращающий момент, даваемый рамкой 1. При этом анодный ток лампы будет пропорционален моменту измерительного прибора 1. Приемный прибор 9, измеряя анодный ток, будет давать отклонение стрелки, соответствующее измеряемой величине.

При изменении сопротивления соединительной линии изменится также и анодный ток лампы 8. Однако это сейчас же нарушит равновесие моментов рамок 1 и 2. Рамка 2, перемещаясь, изменит освещение фотоэлемента 7, и последний отрегулирует анодный ток лампы 8 на прежнюю величину. То же самое будет происходить и при изменении



Фиг. 45. Принципиальная схема фото-компенсационного устройства ВЭИ.

1 — рамка измерительного прибора; 2 — рамка компенсационного прибора; 3 — пружинка; 4 — подвижная решетка; 5 — неподвижная решетка; 6 — лампочка накаливания; 7 — фотоэлемент; 8 — электронная лампа; 9 — приемный прибор; 10 — дроссель; 11 — конденсатор.

напряжения анодной или сеточной батарей, изменении яркости источника света, освещающего фотоэлемент, изменении свойств фотоэлемента и т. п.

Перемещение подвижной решетки почти не связано с трением, а само регулирование благодаря применению электронной аппаратуры происходит совершенно безинерционно.

Поэтому кинетическая энергия движущихся частей в фото-компенсационной системе приобретает ощутимое значение и может вызвать явление перерегулирования, сопровождающееся колебаниями стрелки приемного прибора. Для устранения этого явления в линию связи включается дроссель 10 и конденсатор 11, вносящие некоторую инерцию в цепь анодного тока электронной лампы 8 и несколько увеличивающие постоянную времени регулирующего устройства.

В конструктивном отношении фото-компенсационное устройство ВЭИ представляет собой прибор щитового типа нормальных размеров, внутри которого смонтированы все части регулирующего устройства за исключением двух электронных ламп, помещенных с задней стороны прибора.

На фиг. 46 изображено крепление подвижной и неподвижной решеток.

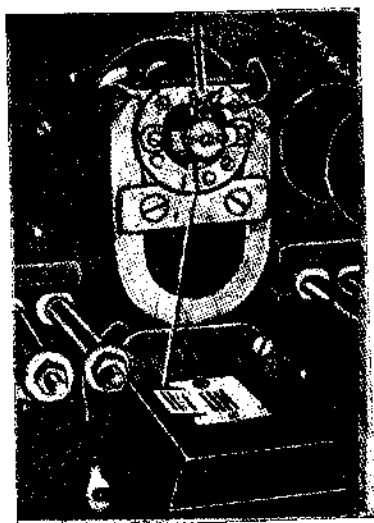
Время установки фото-компенсационного устройства благодаря применению электронной аппаратуры очень невелико, и установление показаний приемного прибора происходит почти без отставания по отношению к передающему.

Погрешность телеизмерения составляет $\pm 1,0 - 1,5\%$ (без учета утечки в линии). Сила тока в линии составляет около 5 мА. Максимальное сопротивление линии около 10 000 Ω .

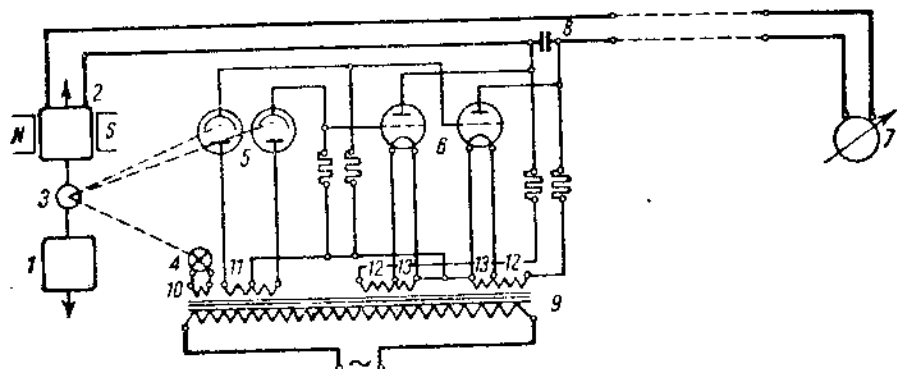
Суммирование, как и в других компенсационных устройствах, осуществляется путем сложения токов, даваемых отдельными передатчиками.

Нулевой ток получается за счет соответствующего выбора смещения лампы 8. Это смещение выбирается таким, чтобы при полном закрытии освещения фотоэлемента 7 лампа 8 давала бы некоторый ток.

В СССР фото-компенсационное устройство телеизмерения разработано также Ленинградским институтом телемеханики. Оно основано на том же принципе, что и фото-компенсационное устройство ВЭИ, и отличается от последнего только тем, что свет, падающий на фотоэлемент, регулируется не при помощи решеток, а при помощи суживающегося к концу



Фиг. 46. Компенсационное устройство телеизмерения ВЭИ. Крепление подвижной и неподвижной решеток.

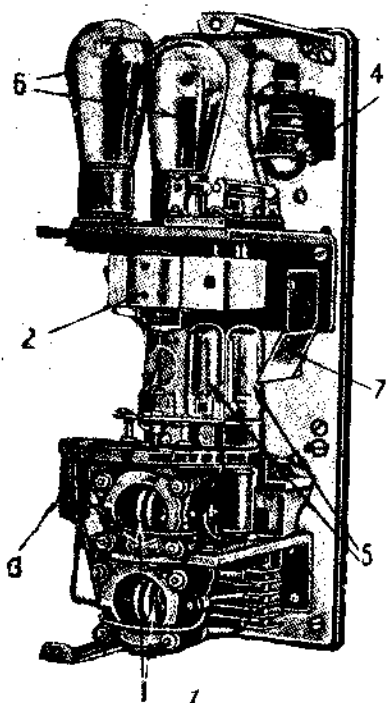


Фиг. 47. Принципиальная схема фото-компенсационного устройства телеизмерения фирмы Джeneralь Электрик К⁰.

1 — измерительный прибор; 2 — компенсационный прибор; 3 — зеркальце; 4 — лампочка накаливания; 5 — фотоэлементы; 6 — электронные лампы; 7 — приемный прибор; 8 — сглаживающий конденсатор; 9 — питающий трансформатор; 10 — обмотка для лампочки накаливания; 11 — обмотка для сеточного напряжения; 12 — обмотка для питания анода; 13 — обмотка для питания накала.

флажка, помещенного на стрелке измерительного прибора между источником света и фотозлементом.

Несколько другого типа фото-компенсационное устройство разработано фирмой Джeneralь Электрик К°. Принципиальная схема этого устройства изображена на фиг. 47. Здесь рамки измерительного прибора 1 и компенсационного прибора 2 соединены жестко вместе и несут на общей оси маленькое зеркальце 3. Это зеркальце при повороте оси приборов 1 и 2 отбрасывает свет от лампочки накаливания 4 на фотозлементы 5. Последние, смещая сеточное напряжение электронных ламп 6, управляют их анодными токами. Анодные цепи электронных ламп 6 включены навстречу друг другу таким образом, что разность анодных токов проходит через линию связи, приемный прибор 7 и рамку компенсационного прибора 2.



Фиг. 48. Измерительный прибор со снятой крышкой.

При изменении измеряемой величины зеркальце 3 под влиянием изменившегося момента измерительного прибора 1 повернется в ту или другую сторону. При этом оно уменьшит количество света, падающего на один фотозлемент, и увеличит количество света, падающего на другой фотозлемент. Фотозлементы, изменив потенциалы сеток ламп 6, увеличат анодный ток в одной из ламп и уменьшат его в другой. Разность анодных токов, протекающих по линии через приемный прибор и через рамку компенсационного прибора 2, также изменится. Перемещение зеркальца 3 и изменение освещения фотозлементов 6

будет происходить до тех пор, пока изменившаяся сила тока в линии и в рамке компенсационного прибора не достигнет такой величины, при которой моменты приборов 1 и 2 уравниваются. Как и в других устройствах телеизмерения компенсационного типа, сила линейного тока и показания приемного прибора будут соответствовать значениям величины, измеряемой прибором 1.

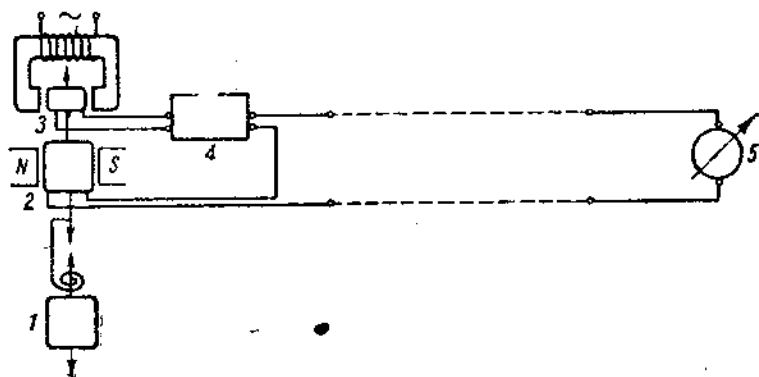
Так же как и в фото-компенсационном устройстве ВЭИ, изменение сопротивления линии связи, напряжения вспомогательного источника тока, свойств фотозлементов или электронных ламп, яркости источника света и т. п. не влияет на точность телеизмерения.

Погрешность телеизмерения составляет по указаниям фирмы $\pm 2\%$ (без учета утечек в линии). Сила тока в линии — до 8 мА. Время установки не превосходит времени установки обычных измерительных приборов. Сопротивление линии связи может доходить до 4 500 Ω .

Внешний вид передатчика фото-компенсационного устройства телеизмерения Джeneralь Электрик К⁰ приведен на фиг. 48, его размеры одинаковы с размерами обычного пишущего прибора (132 × 385 мм).

В заключение настоящего раздела рассмотрим еще одно устройство телеизмерения с непосредственным регулированием, изготовляемое фирмой Вестингауз. Принципиальная схема этого устройства изображена на фиг. 49¹.

Передатчик состоит из измерительного прибора 1, компенсационного прибора 2 и управляющей катушки 3. Последняя жестко соединена с рамкой компенсационного прибора и перемещается в поле элект-



Фиг. 49. Принципиальная схема телеизмерительного устройства компенсационного типа фирмы Вестингауз.

1 — измерительный прибор; 2 — компенсационный прибор; 3 — управляющая катушка; 4 — выпрямитель и усилитель; 5 — приемный прибор.

ромагнита переменного тока. Ток, индуцируемый в этой катушке, выпрямляется и усиливается в усилителе 4. Цепь постоянного тока усилителя 4 включена последовательно с рамкой компенсационного прибора 2, линией связи и приемным прибором 5.

При равновесии моментов измерительного и компенсационного приборов катушка 3 находится в некотором положении, давая через усилитель 4 в рамку компенсационного прибора некоторый ток, который создает в рамке этого прибора момент, уравнивающий момент прибора 1.

При изменении измеряемой величины рамка компенсационного прибора 2 под влиянием изменившегося момента прибора 1 приходит в движение и перемещает управляющую катушку 3. Эта катушка при своем перемещении в поле электромагнита переменного тока, меняя напряжение, даваемое на выпрямитель 4, изменяет силу тока, протекающего через рамку компенсационного прибора, линию связи и приемный прибор. Это изменение будет происходить до тех пор, пока момент, даваемый рамкой компенсационного прибора 2, снова не уравнивает момента, даваемого измерительным прибором 1. При этом

¹ Устройство подобного типа в СССР разработано ОЛИЗ.

сила тока в линии и приемном приборе снова будет соответствовать значению измеряемой величины.

Угол поворота управляющей катушки 3 очень невелик. Электрические постоянные в цепи катушки и усилителя выбраны таким образом, что максимальный угол поворота управляющей катушки не превышает нескольких градусов. Это значительно уменьшает время установки передатчика и сокращает общее время установки телеизмерительного устройства. Погрешность телеизмерения по указаниям фирмы составляет $1-1\frac{1}{2}\%$.

Описанные в настоящем разделе устройства телеизмерения с моментными весами принадлежат к наиболее современным типам компенсационных устройств. Время установки и погрешность телеизмерения в этих устройствах в ряде случаев не превышают норм, установленных для измерительных приборов второго класса точности, или незначительно отличаются от них. Размеры передающих устройств не превышают размеров обычных измерительных приборов, а в некоторых случаях укладываются в размеры нормальных круглых приборов указывающего типа.

16. Компенсационные устройства телеизмерения вибрационного типа

В устройствах вибрационного типа передача телеизмерений производится не постоянной величиной тока, соответствующего измеряемой величине, а постоянно колеблющейся около среднего значения величиной линейного тока, подобно тому как это делается в быстродействующих регуляторах напряжения. Преимуществом такого способа регулирования тока является уменьшение вредного влияния трения благодаря нахождению измерительной и компенсационной систем в непрерывном движении.

В устройствах телеизмерения вибрационного типа применяются два способа сравнения:

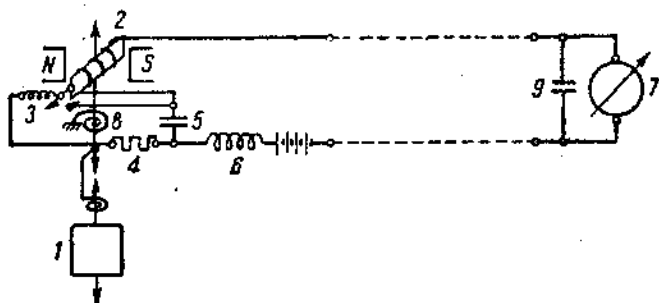
а) с моментными весами и

б) с следящей системой.

а) Устройство телеизмерения вибрационного типа с моментными весами. Устройства телеизмерения этого типа выпускаются фирмой АЕГ и Вестингауз. Принципиальная схема устройства фирмы АЕГ изображена на фиг. 50.

Момент измерительного прибора 1 уравнивается здесь компенсационным устройством 2, выполненным в виде поляризованного реле. Момент измерительного прибора 1 направлен таким образом, что он стремится замкнуть контакты 3 поляризованного реле. Момент же самого поляризованного реле, наоборот, стремится разомкнуть контакты 3. При замыкании контактов 3 поляризованного реле включается телеизмерительная цепь (плюс источника тока, дроссель 6, имеющий большую индуктивность, сопротивление 4, контакты 3, обмотка реле 2, приемный прибор 7, минус источника тока). Эта цепь имеет индуктивность (дроссель и обмотка реле), поэтому ток в ней возрастает постепенно по кривой 1 (фиг. 51). Вместе с возрастанием тока возрастает и противодействующий момент поляризованного реле. Когда этот мо-

мент станет больше момента измерительного прибора, контакты 3 поляризованного реле разомкнутся и разомкнут цепь телеизмерения, включив в нее конденсатор 5, который при замкнутых контактах 3



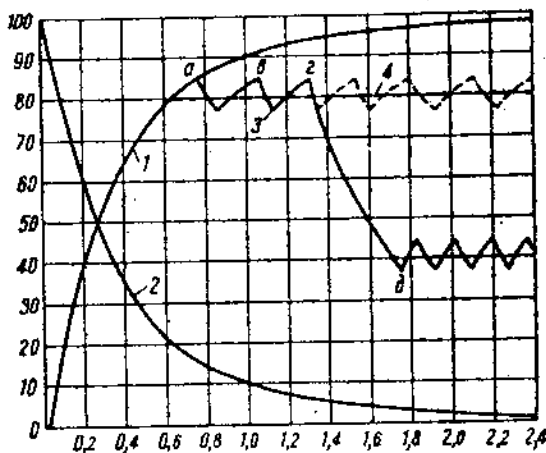
Фиг. 50. Принципиальная схема компенсационного устройства телеизмерения вибрационного типа фирмы АЕГ.

1 — измерительный прибор; 2 — компенсирующее поляризованное реле; 3 — контакты поляризованного реле; 4 — сопротивление; 5 — конденсатор; 6 — дроссель; 7 — приемный прибор.

был замкнут через сопротивление 4. Этот конденсатор начнет заряжаться, причем ток в линии начнет падать по кривой 2 (точка *a* на фиг. 51). При уменьшении тока будет уменьшаться и момент, даваемый поляризованным реле, и когда этот момент станет меньше момента измерительного прибора 7, контакты поляризованного реле снова замкнутся (точка *b* на фиг. 51). При этом ток в линии снова начнет повышаться и т. д.

Момент, даваемый поляризованным реле, пропорционален величине тока, протекающего через его обмотку. Так как средняя величина момента поляризованного реле равна моменту измерительного прибора 7, то средняя сила тока в линии всегда пропорциональна измеряемой величине.

При снижении измеряемой величины момент, даваемый прибором 1, уменьшается. При размыкании контактов 3 поляризованного реле они останутся в разомкнутом состоянии до тех пор, пока сила линейного тока не снизится до величины, при которой момент поляризован-



Фиг. 51. Изменение линейного тока в компенсационном устройстве телеизмерения вибрационного типа.

1 — кривая нарастания тока; 2 — кривая спадания тока; 3 — кривая тока в линии; 4 — среднее значение тока.

ного реле станет снова меньшим, чем момент измерительного прибора 7 (точка δ на фиг. 51). После этого начнутся колебания тока около нового среднего значения тока, соответствующего новому значению измеряемой величины.

Число замыканий и размыканий тока зависит от настройки поляризованного реле и постоянных цепи телеизмерения, определяющих скорость нарастания и спада линейного тока. В телеизмерительном устройстве АЕГ число замыканий составляет 3—5 в сек. Так как эти замыкания происходят непрерывно в течение круглых суток, то количество замыканий и размыканий, которое приходится совершать контактам поляризованных реле, очень велико. Однако, благодаря тому что при размыкании контактов ток полностью не прерывается и благодаря тому что параллельно контактам включен конденсатор, подгорания их не наблюдается, и как показала практика, они требуют весьма малого ухода.

Колебание силы тока в линии при замыкании и размыкании контактов поляризованных реле составляет от 5 до 10% по отношению к его максимальной величине, составляющей от 1,5 до 6,5 мА. Сопротивление линии связи при напряжении вспомогательного источника тока в 24 В может достигать 1 200 Ω . При большем сопротивлении линии необходимо повышение напряжения вспомогательного источника тока.

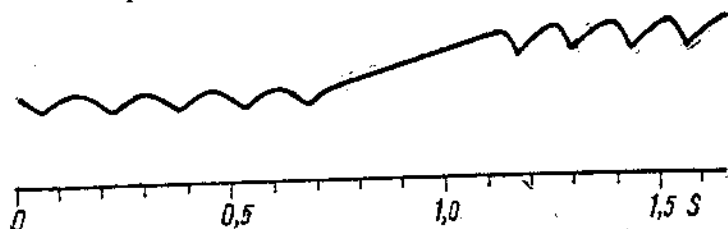
В качестве приемных приборов применяются обычно миллиамперметры постоянного тока. Ввиду незначительности колебаний тока применение специального успокоения для получения устойчивого положения стрелки не требуется. Чтобы несколько сгладить влияние этих колебаний, параллельно приемному прибору включается конденсатор (9 на фиг. 50).

Для получения нулевого тока служит пружинка 8, которая дает на ось прибора 2 постоянный дополнительный момент, направленный в ту же сторону, что и момент от измерительного прибора 7. С помощью этой пружинки можно также осуществлять телеизмерения величин, изменяющих свое направление. С этой целью момент пружинки 8 выбирают таким, чтобы он давал ток в линии, соответствующий середине шкалы приемного прибора. Тогда при положительном направлении измеряемой величины момент прибора 7 будет складываться с моментом пружинки 8 и увеличивать ток в линии. При отрицательном направлении измеряемой величины этот момент будет, наоборот, вычитаться из момента пружинки 8 и уменьшать ток в линии.

На фиг. 52 приведена осциллограмма тока в линии при внезапном изменении измеряемой величины. Как можно видеть, время перехода от одного значения измеряемой величины к другому составляет около 0,5 сек.

б) Устройства телеизмерения вибрационного типа с следящей системой. Устройства вибрационного типа с следящей системой изготавливаются фирмой Эстерлейн-Ангус в Америке. Принципиальная схема устройства изображена на фиг. 53. Выполнение следящей системы такое же, как и в описанном выше устройстве телеизмерения фирмы Эвершед и Виньоль (см. стр. 80). Измерительный прибор 7 несет на своей стрелке контактную вилку, внутри которой перемещается кон-

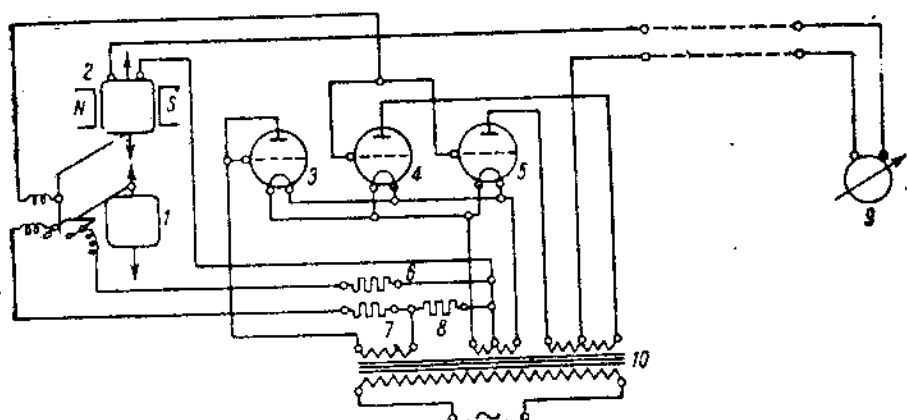
такт, укрепленный на стрелке компенсационного прибора 2. Питание телеизмерительной цепи происходит от одной из обмоток трансформатора 10, ток которой выпрямляется электронными лампами прибора 2. Выпрямленный ток проходит через рамку компенсационного прибора 2, линию связи и приемный прибор 9. Величина этого тока будет зависеть



Фиг. 52. Протекание тока в линии в компенсационном устройстве телеизмерения фирмы АЕГ.

от потенциала сеток ламп 4 и 5, получаемого от электронной лампы 3, питаемой отдельной обмоткой трансформатора 10.

При преобладании момента прибора 1 над моментом прибора 2 в контактной вилке прибора 1 будет замкнут правый контакт. При



Фиг. 53. Принципиальная схема компенсационного устройства телеизмерения вибрационного типа фирмы Эстерлейн-Ангус.

1 — измерительный прибор; 2 — компенсационный прибор; 3, 4 и 5 — электронные лампы; 6, 7 и 8 — сопротивления; 9 — приемный прибор; 10 — питающий трансформатор.

этом сетки обеих ламп 4 и 5 соединятся через сопротивление 6 с нитями их накала. Запирающий потенциал сеток снизится, и лампы 4 и 5 начнут увеличивать ток в цепи приемного прибора 9 и компенсационного прибора 2. Это увеличение тока будет продолжаться до тех пор, пока момент прибора 2 не станет больше момента прибора 1 и правый контакт в контактной вилке разомкнется.

Если момент прибора 1 будет меньше, чем момент прибора 2, то в контактной вилке замкнется левый контакт. При этом сетки ламп

4 и 5 получают через сопротивление 7 дополнительный отрицательный потенциал от обмотки трансформатора 10, питающей электронную лампу 3, и начнут уменьшать ток в приемном приборе 9 и компенсационном приборе 2. Это уменьшение тока будет происходить до тех пор, пока контакт в контактной вилке не будет разомкнут.

Таким образом стрелка компенсационного прибора 2 все время следит за положением стрелки измерительного прибора, стремясь стать в среднее положение между контактами контактной вилки. Практически она все время колеблется между этими контактами, то увеличивая, то уменьшая ток в линии и приемном приборе, подобно тому как это происходит в описанном выше устройстве телеизмерения фирмы АЕГ. Среднее значение силы тока в линии при этом все время соответствует моменту, даваемому прибором 1, и значению измеряемой им величины.

Погрешность телеизмерения, даваемая описанным устройством, составляет по данным фирмы $1\frac{1}{2}$ —2%. Ток в линии составляет от 15 до 50 мА. Сопротивление цепи может составить до 10 000 Ω . В отношении своих прочих свойств устройство фирмы Эстарлейн-Ангус равноценно описанному выше устройству фирмы АЕГ.

Компенсационные устройства вибрационного типа принадлежат по своим показателям так же, как и устройства с непосредственным регулированием, к современным типам телеизмерительных установок.

Точность телеизмерения и время установки этих устройств близки к точности и времени установки обычных измерительных приборов. Размеры передающих устройств невелики: у фирмы АЕГ передатчик имеет размеры обычного трехфазного счетчика, а у фирмы Эстерлейн-Ангус — размеры самопишущего прибора.

17. Нулевые методы телеизмерения

Принцип нулевого телеизмерения основан на компенсации телеизмеряемой величины приемником таким образом, чтобы линейный ток в установившемся состоянии был равен нулю. Это осуществляется обычно путем уравнивания напряжений по обоим концам линии связи. С передающего конца это напряжение устанавливается телеизмерительным прибором соответственно значению измеряемой величины. С приемной стороны при наличии тока в линии приходит в действие специальный регулятор, который устанавливает напряжение на приемном конце линии равным напряжению на передающем конце. При равенстве этих напряжений ток в линии исчезает, и регулятор прекращает свое действие. Напряжение на приемном конце, установленное регулятором, может служить мерилем измеряемой величины.

Так как ток в линии в установившемся состоянии равен нулю, то изменение сопротивления линии не вызывает никаких погрешностей.

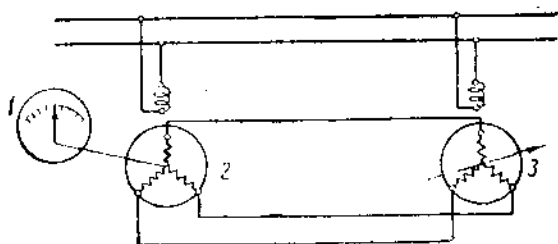
Преимуществом компенсации на приемнике является возможность получения на приемном конце любого количества энергии. В остальных типах компенсационных устройств телеизмерения компенсация происходит на передатчике, и количество получаемой на приемной стороне энергии невелико, поскольку оно ограничивается пропускной способностью линии связи.

Существует два типа телеизмерительных устройств, работающих по нулевому методу:

- а) устройства индукционного типа (переменного тока);
- б) устройства с компенсацией на приемном конце постоянным током.

а) Устройства телеизмерения индукционного типа. К числу первых устройств телеизмерения индукционного типа принадлежат устройства, применяющие моторчики «Сельсин» (от слов self synchronization) и изготовляемые в Америке фирмами Джeneral' Электрик К^о, Вестингауз и Бейли и в Европе фирмами Сименс и АЕГ¹. Передающий

и приемный приборы представляют собой небольшие однофазные индукционные двигатели с трехфазным ротором. Статоры двигателей подключаются к сети переменного тока, а роторы соединяются друг с другом линией связи (фиг. 54). Ротор передатчика 2 жестко связан со стрелкой измерительного прибора 1, которая при изменении измеряемой величины перемещает его, давая ротору передатчика угловое отклонение, соответствующее этому изменению. Ротор приемника может свободно перемещаться, снабжен указательной стрелкой и служит одновременно указательным прибором. Передатчик и приемник по своей конструкции, размерам и данным обмоток идентичны. Поэтому напряжения, индуцируемые в обмотках роторов приемника и передатчика, при одинаковом напряжении питающей сети и одинаковом положении обмоток роторов по отношению к направлению магнитного поля по величине равны. Роторы двигателей соединены друг против друга, поэтому напряжение, индуцируемое в них, уравнивается, благодаря чему ток в линии связи и обмотках роторов равен нулю.



Фиг. 54. Схема включения моторов «Сельсин».

1 — измерительный прибор 2 — передатчик; 3 — приемник.

Если положение роторов приемника и передатчика неодинаково, то индуцируемые в их обмотках напряжения будут также неодинаковы. Под влиянием разности напряжений в линии появится ток. Этот ток, протекая по обмотке ротора приемника, взаимодействует с полем его статора и заставляет ротор приемника поворачиваться до одинакового положения с ротором передатчика. Таким образом ротор приемника следует всем движениям ротора передатчика, повторяя движения стрелки измерительного прибора.

Недостатком описанного метода является необходимость значительного усилия для приведения в движение ротора передатчика. Поэтому этот метод телеизмерения применим только для измерительных приборов, развивающих большой момент.

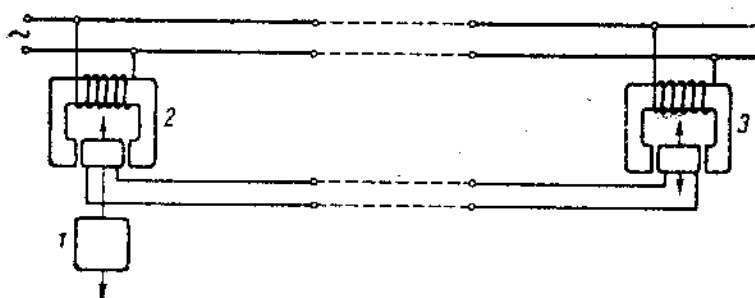
¹ В СССР изготовляются заводом «Электроприбор».

Вторым недостатком описанного метода телеизмерения является большое число проводов и необходимость питания приемника и передатчика от одной и той же сети переменного тока с одинаковой частотой и напряжением.

Наконец, третьим недостатком телеизмерения с моторчиками «Сельсин» является невозможность суммирования.

В компенсационных устройствах, применяющих нулевые методы, в частности, в телеизмерительных устройствах «Сельсин», при установившемся состоянии ток в роторе приемного прибора и момент, развиваемый им, равны нулю. Поэтому полезный момент, даваемый приемником, невелик и при требовании большой точности телеизмерения его можно использовать только в качестве указательного прибора.

Расстояние телепередачи, допускаемое устройством с моторчиком «Сельсин», невелико, сопротивление линий связи не должно превышать



Фиг. 55. Принципиальная схема индукционного телеизмерения фирмы Трюб и Тейбер.

1 — измерительный прибор; 2 — передатчик; 3 — приемник.

200 Ω . Поэтому в большинстве случаев эти устройства применяются для передачи измерений в пределах одного и того же здания. Погрешность передачи составляет по данным фирм около 1% от всей шкалы. Ток в линии может достигать до 300 мА, держась нормально на величине, близкой к нулю.

Несколько другой метод индукционного телеизмерения был разработан фирмой Трюб и Тейбер. В СССР этот метод применяется в индукционно-уравновешенных устройствах телеизмерения, разработанных ОЛИЗ. В качестве приемника и передатчика применяются ферродинамические индукционные приборы. Обмотки электромагнитов этих приборов приключаются к общей сети переменного тока, а рамки соединяются проводами связи так, чтобы индуцируемые в них напряжения были направлены друг против друга (фиг. 55). Рамка передающего прибора, так же как и в устройстве «Сельсин», скрепляется со стрелкой измерительного прибора, измеряющего передаваемую величину. Рамка приемного прибора может свободно вращаться и несет на себе указательную стрелку. При одинаковом напряжении питающей сети и одинаковых параметрах приемного и передающего приборов напряжения, индуцируемые в рамках обоих приборов, зависят от угла их поворота. При одинаковом положении обеих рамок

в них индуктируются равные напряжения, и ток в линии равен нулю. Если положения рамок передатчика и приемника неодинаковы, то индуктируемые в них напряжения не равны друг другу. Под влиянием разности этих напряжений в линии течет ток. Этот ток, проходя по рамке приемного прибора, взаимодействует с полем магнита и заставляет рамку перемещаться до тех пор, пока она не займет такого же положения, как и рамка передающего прибора. Таким образом, как и в устройстве телеизмерения с моторчиками типа «Сельсин», рамка приемного прибора в описываемом устройстве будет следовать всем движениям рамки передающего прибора, повторяя движение стрелки измерительного прибора.

По своим свойствам устройство телеизмерения фирмы Трюб и Тейбер равноценно устройству фирмы «Сельсин», с той разницей, что для передвижения рамок передатчика и приемника здесь требуется значительно меньшее усилие. Поэтому передача может производиться от электрических измерительных приборов с нормальным или немного увеличенным моментом. Расстояние передачи также несколько больше, чем допускается телеизмерительным устройством с моторчиками фирмы «Сельсин». По данным фирмы это расстояние может достигать несколько десятков километров, практически же оно ограничено величиной в несколько километров, так как увеличение сопротивления линии связи вызывает уменьшение момента приемного прибора и уменьшение точности телеизмерения.

Суммирование в описываемом устройстве возможно. Это суммирование осуществляется последовательным соединением рамок передающих приборов. Приемный прибор при этом должен уравнивать суммарные напряжения всех передатчиков и давать отклонения, пропорциональные сумме измеряемых величин.

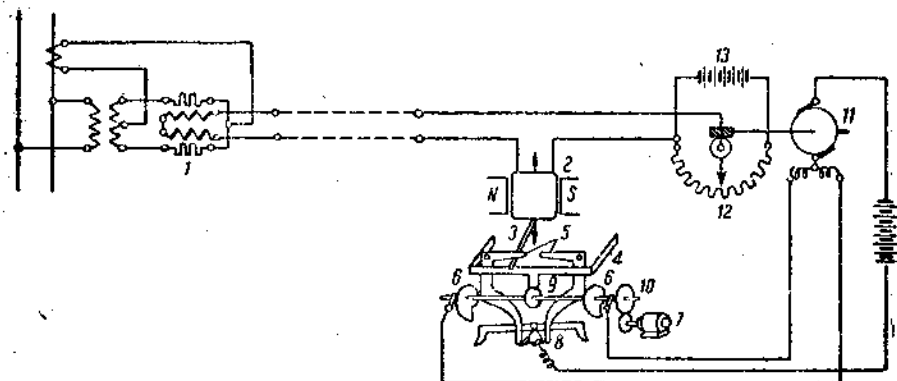
б) Устройства телеизмерения постоянного тока. Устройство с компенсацией постоянного тока представляет собой соединение термоумформерного метода телеизмерения фирмы «Линкольн» с автоматическим потенциометром фирмы Лидс и Нортруп. Термоумформер служит передатчиком, а автоматический потенциометр — приемником.

Принципиальная схема этого устройства изображена на фиг. 56.

Термоумформерный передатчик 1 дает на передающем конце линии связи напряжение, пропорциональное измеряемой величине. Это напряжение уравнивается на приемном конце потенциометром 12, приводимым в движение моторчиком 11, который управляется специальным регулирующим устройством.

Это регулирующее устройство имеет гальванометр 2, стрелка которого 3 перемещается между падающей дужкой 4 и рычагами 5. Падающая дужка приводится в колебательное движение при помощи эксцентрика 9, посаженного на ось 10, вращаемую вспомогательным моторчиком 7. При равенстве напряжений на концах линии связи ток в ней и в рамке гальванометра 2 будет равен нулю. Стрелка 3 прибора 2 будет находиться между концами рычагов 5 и при движении падающей дужки 4 вверх будет перемещаться вместе с падающей дужкой, не задевая ни одного из рычагов.

Если напряжение на концах линии связи не равно, то в линии и рамке гальванометра 2 появится ток. Стрелка гальванометра отклонится и при движении падающей дужки вверх упрется в конец одного из рычагов 5, захватив его с собой. Рычаг 5, поворачиваясь вокруг своей оси, другим концом повернет контактную траверсу 8, приближая в большей или меньшей степени соответствующий конец ее к одному из контактных секторов 6 на оси 10. При вращении оси 10 сектор 6 приходит в соприкосновение с контактной траверсой и, замыкая цепь моторчика 11, заставляет его вращаться в ту или другую сторону. Моторчик 11, перемещая движок потенциометра 12, изменяет напряжение на приемном конце линии. Включение моторчика 11 и изменение



Фиг. 56. Принципиальная схема устройства телеизмерения с компенсацией на приемном конце.

1 — термоумформерный передатчик; 2 — гальванометр; 3 — стрелка гальванометра; 4 — падающая дужка; 5 — рычаги; 6 — контактные секторы; 7 — вспомогательный моторчик; 8 — контактная траверса; 9 — эксцентрик; 10 — ось; 11 — моторчик, переставляющий потенциометр; 12 — потенциометр; 13 — стандартный источник напряжения.

величины напряжения на приемном конце линии будут происходить до тех пор, пока это напряжение не будет равно напряжению, даваемому термоумформером 1. Сила тока в линии при этом снова будет равна нулю, и стрелка гальванометра 2 снова установится посередине между рычагами 5.

Описанное регулирующее устройство поддерживает, таким образом, напряжение, даваемое потенциометром 12, по величине равным напряжению, даваемому термоумформером 1. Значение этого напряжения может служить поэтому мерилom измеряемой величины. В качестве стрелки указательного или регистрирующего прибора используют обычно движок потенциометра.

Описанный способ телеизмерения дает очень большую точность. По данным Нью-Йоркской электрической сети (New York Edison El. Co), где установлены телеизмерительные установки этого типа, погрешность телеизмерения для отдельных установок составляет 0,53—0,56%. Передача телеизмерений в этой сети осуществляется по жилам телефонных кабелей. Поэтому погрешность от утечек в линии почти отсутствует. При передаче по воздушным линиям, как и в ин-

дукционных устройствах телеизмерения, наличие утечки в линии не допускает полного уравнивания напряжений на передающем и приемном концах, так как ток в гальванометре автоматического потенциометра будет равен нулю в тот момент, когда напряжение на приемном конце будет отличаться от напряжения на передающем конце на величину падения напряжения в линии от токов утечки.

К достоинствам описанного устройства нужно отнести также возможность получения в месте приема большого количества энергии. В упомянутой выше телеизмерительной установке Нью-Йоркской электрической сети постоянный ток на приемном пункте применяется только для уравнивания напряжений, даваемых термоумформерами. Для суммирования и дальнейшего указания применяется переменный ток, получаемый от потенциометров переменного тока, соединенных с приемными устройствами.

К недостаткам описанного телеизмерительного устройства нужно отнести некоторую сложность конструкции приемного устройства и большое время установки. Следует указать, что употребляемый для уравнивания напряжения автоматический потенциометр фирмы Лидс и Нортруп применяется этой фирмой для целого ряда устройств и является проверенной и достаточно надежно работающей конструкцией. Большое время установки получается из-за большой инерции, присущей термоумформерам, к которой в данном случае присоединяется инерция автоматических потенциометров.

Из описанных выше типов компенсационных устройств телеизмерения полнее других удовлетворяют предъявляемым к телеизмерительным устройствам требованиям¹ устройства с непосредственным регулированием (помимо сравнения скоростей) и устройства вибрационного типа. Обе эти группы телеизмерительных устройств принадлежат к последним по времени типам и являются наиболее совершенными по своим свойствам. Время установки и точность телеизмерения в этих устройствах близки к величинам, установленным для обычных измерительных приборов. Размеры передатчиков не превышают размеров обычных измерительных приборов регистрирующего типа, а в ряде случаев укладываются и в меньшие габариты.

Устройства телеизмерения с реостатным регулятором индукционного типа и термоумформерно-компенсационного типа по своим свойствам хуже. Первые дают большую погрешность и значительное время установки, вторые требуют большего момента от первичных измерительных приборов и ограничены в отношении суммирования. Наконец, третьи при большой точности телеизмерения дают очень большое время установки.

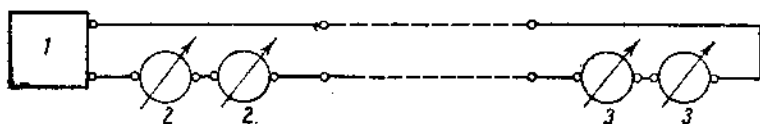
Из устройств телеизмерения с непосредственным регулированием и вибрационного типа, по своим свойствам являющихся примерно одинаковыми, в принципиальном отношении более рационально построенными являются все же первые. Большое число замыканий и размыканий контактов в вибрационных устройствах, даже при сравнительно благоприятных условиях их работы, и непрерывное колеба-

¹ См. стр. 47.

тельное движение осей приборов безусловно являются неблагоприятными в отношении износа и постоянства регулировки.

В качестве приемных приборов в большинстве устройств служат обычные приборы постоянного тока (миллиамперметры). Требования стандартности удовлетворяются полностью, поскольку исходными приборами служат обычные измерительные приборы с нормальной величиной момента.

Суммирование на приемной стороне осуществляется простым сложением токов, даваемых отдельными передатчиками. Суммирование на передающей стороне более сложно, так как для этого нужно поставить прибор, суммирующий моменты от всех измеряемых величин. При необходимости этого суммирования одновременно с суммированием на приемной стороне (в диспетчерском пункте) более целесообразно устанавливать на передающей стороне приемные приборы, производя на них суммирование токов, и от одного из этих приборов при помощи



Фиг. 57. Принципиальная схема многократного указания.

1 — передатчик; 2 — указательные приборы на передающей стороне; 3 — указательные приборы на приемной стороне.

дополнительного передатчика осуществлять передачу суммарной величины в диспетчерский пункт (подробнее см. стр. 144). При необходимости указания суммарной величины на передающей стороне в небольшом числе мест можно применить включение в линию приемных приборов с обеих сторон ее, как это указано на фиг. 57. Такое многократное указание является в компенсационных устройствах телеизмерения вполне возможным, поскольку сопротивление телеизмерительной цепи в большинстве случаев может быть достаточно велико.

Точность, даваемая компенсационными устройствами, все же недостаточна для суммирования. В больших энергосистемах, где суммируемые величины нагрузок и общая суммарная нагрузка по своему абсолютному значению велики, необходима большая точность телеизмерения. С этой точки зрения интересны результаты, даваемые описанным выше устройством телеизмерения термоумформерно-компенсационного типа.

Максимальная погрешность суммирующей установки Нью-Йоркской сети, снабженной этими установками при суммировании нагрузки пяти станций и одной точки обмена мощностью с общим количеством слагаемых в 32 единицы и абсолютным значением суммы в 2 000 MW, составляет 1,4%. Такая малая погрешность получается, правда, за счет усложнения аппаратуры и увеличения времени установки. Однако она служит показателем возможностей, даваемых телеизмерительными устройствами в отношении точности передачи.

Нулевой ток и передача величин переменного направления получаются в описанных устройствах без каких-либо дополнительных при-

способлений. Некоторые затруднения получаются в этом случае только при суммировании на приемной стороне. Более подробно они рассмотрены в главе о суммировании.

Единственным требованием, которому компенсационные устройства телеизмерения с непосредственным регулированием удовлетворяют не полностью, является независимость от свойств линии связи. Как неоднократно отмечалось, точность передачи компенсационных устройств зависит от величины утечки в линии. Поэтому при передаче по воздушным линиям связи с заметными колебаниями утечки в зависимости от атмосферных условий компенсационные устройства могут давать большие погрешности. Это ограничивает применение их расстояниями в 60—70 км.

Другое ограничение области применения компенсационных устройств заключается в требовании для передачи канала постоянного тока, что обуславливает их работу только по линиям связи, не подразделенным трансформаторами.

Общим недостатком, присущим всем устройствам телеизмерения компенсационного типа, является непосредственное присоединение приемного прибора к линии, благодаря чему этот прибор подвержен всем перенапряжениям, возникающим в линиях связи.

ГЛАВА VI

ИМПУЛЬСНЫЕ МЕТОДЫ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

18. Время-импульсные устройства телеизмерения

Как указывалось в начале настоящей части, стремление избавиться от ограничений, накладываемых на компенсационные телеизмерения свойствами линий связи, заставило конструкторов пойти по пути использования для передачи телеизмерений методов телеграфной передачи. Этим были вызваны к жизни импульсные устройства, в которых телеизмерение осуществляется путем передачи по линиям импульсов тока, подобно тому как это делается в телеграфной передаче.

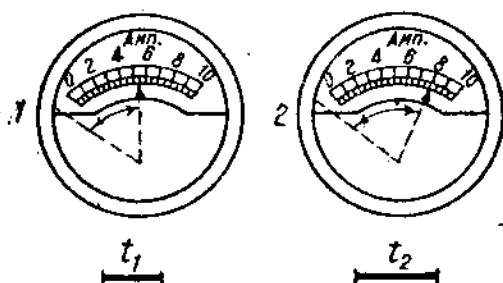
Рассмотрение импульсных методов телеизмерения мы начнем в порядке классификации, приведенной на стр. 47, с время-импульсных устройств телеизмерения.

Передача измерений в этих устройствах осуществляется путем измерения продолжительности импульсов, посылаемых по линии связи, в соответствии с изменениями измеряемой величины. Задачей передатчика является, таким образом, преобразование угловых отклонений стрелки измерительного прибора в импульсы с продолжительностью, пропорциональной этим отклонениям. Задачей приемника является обратное преобразование этих импульсов в отклонение стрелки.

По роду конструктивного выполнения приемников время-импульсные устройства телеизмерения можно разделить на две группы:

- а) устройства с механическими приемниками и
- б) устройства с электрическими приемниками.

а) Время-импульсные устройства телеизмерения с механическими приемниками. Время-импульсные устройства с механическими приемниками изготавливаются фирмами АЕГ и ДТВ (Deutsche Telefon und



Фиг. 58. Измерение положения стрелки прибора по угловому отклонению ее.

стрелки при помощи контактного устройства, вращающегося с постоянной скоростью. Если устроить это контактное устройство таким образом,

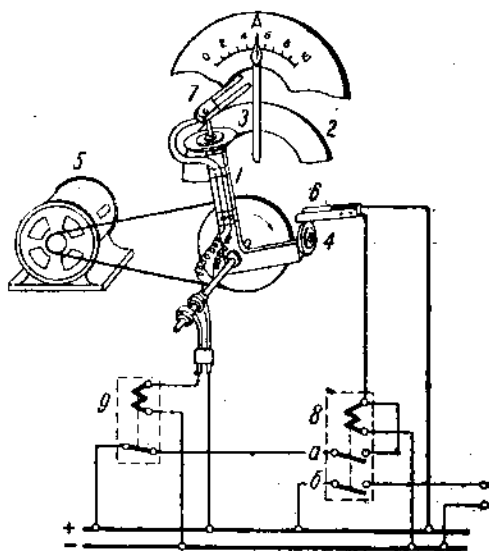
чтобы оно замыкало свой контакт в начале шкалы и в том месте, где находится стрелка измерительного прибора, то время между этими двумя замыканиями будет пропорционально угловому отклонению стрелки измерительного прибора (фиг. 58). На этом принципе действия и построены передатчики ДТВ и АЕГ.

Принцип действия передатчика ДТВ изображен на фиг. 59. Контактное устройство в этом передатчике представляет собой изогнутую пластинку 1, на концах которой имеются легкие каучуковые ролики 3 и 4. Пластика приводится во вращение небольшим синхронным моторчиком 5. При вращении пластинки ролики катятся по металлическому кольцу 2, помещенному между стрелкой измерительного прибора и его шкалой.

Нормально стрелка не касается кольца 2 и может свободно перемещаться в соответствии с изменениями измеряемой величины. При каждом обороте пластинки 1 в момент, когда длинный конец ее с колесиком 3 проходит мимо точки, расположенной немного левее нуля,

и фирмами Факсборо, Билдерс Айрон Фаундри и Бристоль в Америке. Ниже описываются телеизмерительные устройства ДТВ и АЕГ.

Наиболее простым способом превращения отклонений стрелки измерительного прибора в пропорциональные им по продолжительности импульсы тока является измерение углового отклонения



Фиг. 59. Передатчик время-импульсного устройства телеизмерения фирмы ДТВ.

1 — пластинка контактного устройства; 2 — металлическое кольцо; 3 и 4 — каучуковые колесики; 5 — синхронный моторчик; 6 и 7 — контакты; 8 и 9 — реле.

колесико 4, расположенное на коротком конце пластинки, замыкает контакт 6.

При этом замыкается цепь реле 8, которое, включаясь, контактом *a* блокирует себя во включенном состоянии, а контактом *б* включает напряжение на линию связи. Выключение реле 8 происходит в тот момент, когда длинный конец пластинки 1 проходит мимо стрелки измерительного прибора. В этот момент стрелка прижимается колесиком 3 к кольцу 2, затормаживаясь на некоторый момент в том положении, в котором она находилась, и замыкает контакт 7. Этим контактом включается реле 9, которое размыкает блокирующую цепь реле 8 и этим выключает его. При выключении реле 8 размыкает свой контакт *б* и прекращает ток в линии. Продолжительность включения реле 8 и вместе с этим продолжительность включения напряжения на линию связи получается при этом пропорциональной углу отклонения стрелки измерительного прибора.

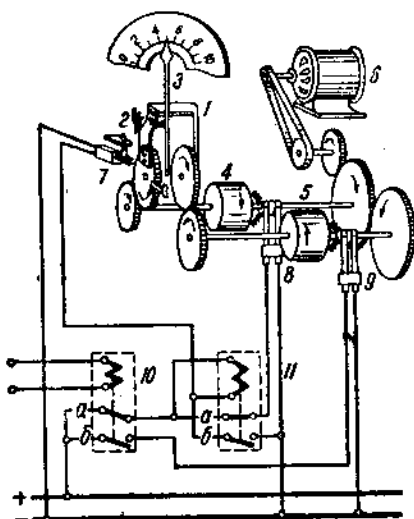
Замыкание контакта *б* немного левее нуля шкалы делается для того, чтобы передавать нулевое значение измеряемой величины импульсом, имеющим определенную продолжительность. Это, с одной стороны, дает более точную установку на ноль стрелки приемного прибора, а с другой стороны, позволяет контролировать исправность линии.

Затормаживание стрелки измерительного прибора в момент замыкания контактов 7 дает возможность производить это замыкание с большим моментом.

Конструкция приемника фирмы ДТВ изображена на фиг. 60. Этот приемник устроен следующим образом:

Маленький синхронный моторчик приводит в движение две электромагнитные муфты 4 и 5, которые связаны друг с другом зубчатой передачей таким образом, что вращаются в противоположных направлениях. Муфта 5 приводит в движение при помощи зубчатой передачи так называемый «приемник измерений» 1, который благодаря соответствующему подбору зубчатой передачи имеет точно такую же скорость вращения, как и пластинка 1 передатчика.

В момент начала импульса включается реле 10, которое своим контактом *б* через щетки 9 включает муфту 5. Приемник измерений 1 начинает при этом вращаться и вращается до тех пор, пока импульс не прекратится.



Фиг. 60. Приемник время-импульсного устройства телеизмерения фирмы ДТВ.

1 — приемник телеизмерений; 2 — восстановитель; 3 — стрелка указательного прибора; 4 — муфта восстановителя; 5 — муфта приемника измерений; 6 — синхронный моторчик; 7 — нулевой контакт; 8 и 9 — щетки, подводящие ток к муфтам; 10 и 11 — приемное и возвращающее реле.

Стрелка 3 приемника устроена таким образом, что она может быть продвинута вперед приемником измерений. Так как время работы реле 10 соответствует в точности времени работы реле 8 передатчика и, следовательно, соответствует мгновенному значению измеренной величины, то стрелка 3 после окончания импульса, когда муфта 5 освободит приемник, займет то же положение, какое имела стрелка измерительного прибора передатчика в тот момент, когда она была заторможена.

При прекращении импульса в линии реле 10 отпустит свои контакты. При этом через контакты а реле 10, контакты а реле 11 и щетки 8 замыкается цепь тока муфты 4, которая приводит в действие так называемый «восстановитель». Последний начинает при этом двигаться от своего упора, находящегося направо от шкалы (на фиг. 60 этот упор не показан), навстречу приемнику измерений, захватывает его и возвращает в первоначальное положение на левый конец шкалы.

При достижении приемником измерений левого конца шкалы он замыкает там контакты 7. При этом замыкается цепь реле 11, которое, притягивая свои контакты, прерывает ток в муфте 4. Восстановитель 2 под действием пружины (на фиг. 60 не показана) возвращается при этом в свое первоначальное положение в правой части шкалы, тогда как приемник измерений 1 остается в левой части в начале шкалы. Приемное устройство будет после этого готово для приема следующего импульса.

Если при следующем импульсе новая измеренная величина окажется большей, чем предыдущая, то стрелка будет продвинута приемником измерений еще дальше вправо.

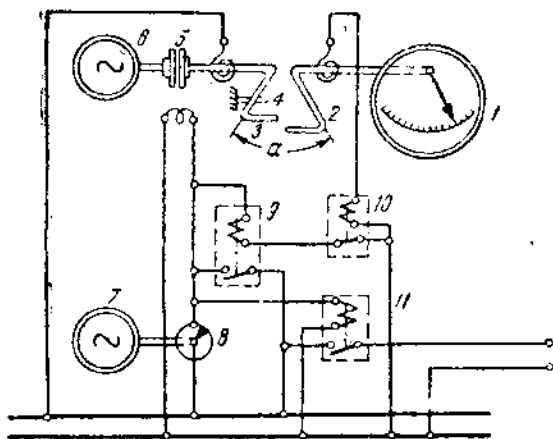
Если же, однако, вновь переданная величина стала меньше, чем предыдущая, то приемник измерений остановится, не дойдя до стрелки. В этом случае стрелка должна быть возвращена обратно. Это производится восстановителем, который при помощи особого язычка захватывает стрелку, придвигает ее к приемнику измерения, около него освобождает ее и двигает дальше только один приемник измерений.

Несколько иначе выполнено устройство телеизмерения времени-импульсного типа АЕГ. Принципиальная схема передатчика этого устройства изображена на фиг. 61.

Контактное устройство, посылающее импульсы, состоит из двух рычагов 2 и 3, один из которых связан со стрелкой измерительного прибора 1, а другой через электромагнитную муфту 5 — с небольшим синхронным моторчиком 6. Нормально электромагнитная муфта разъединена, и рычаг 3 находится у упора 4, прижимаемый к нему пружиной. Включение электромагнитной муфты производится при помощи барабанчика 8, приводимого в движение вспомогательным моторчиком 7. Этот барабанчик имеет проводящий сектор, который, проходя мимо щетки, включает один раз за оборот цепь электромагнитной муфты 5 начинающего реле 9 и линейного реле 11. При включении муфты рычаг 3 соединится с моторчиком 6, и последний начнет перемещать его по направлению к рычагу 2. Реле 9, включаясь, своим контактом шунтирует барабанчик 8, давая напряжение на муфту 5,

на свою собственную обмотку и на обмотку реле 11 помимо него. Реле 11, замыкая свой контакт, включает напряжение на линию связи.

В момент соприкосновения рычага 3 с рычагом 2 через пружинки, подводящие ток к этим рычагам, включается реле 10. Это реле, размыкая свой контакт, разрывает цепь обмотки реле 9. Последнее отпускает свои контакты и разрывает цепь электромагнитной муфты 5 и реле 11. Муфта 5 разъединяет рычаг 3 от моторчика 6. Рычаг 3 под действием своей пружинки возвращается при этом в свое начальное положение к упору 4. Реле 11, выключаясь, разрывает ток в линии.



Фиг. 61. Передатчик время-импульсного устройства телеизмерения фирмы АЕГ.

1 — измерительный прибор; 2 и 3 — контактные рычаги; 4 — упор; 5 — электромагнитная муфта; 6 и 7 — вспомогательные моторчики; 8 — включающий барабан; 9, 10 и 11 — начинающее, кончающее и линейное реле.

При следующем прохождении проводящего сектора барабанчика 8 мимо щетки описанный процесс начинается снова.

Время включения реле 11 и соответственно с этим продолжительность подачи тока в линию равны промежутку времени от момента соединения щетки барабанчика 8 с его проводящим сектором до момента соприкосновения рычага 3 с рычагом 2. Величина этого промежутка определяется временем, которое необходимо рычагу 3 для того, чтобы пройти от своего нулевого положения, соответствующего точке, расположенной немного влево от нуля шкалы измерительного прибора 1, до рычага 2. Так как рычаг 2 занимает в пространстве положение, соответствующее угловому отклонению стрелки 1, и рычаг 3 движется с постоянной скоростью, то этот промежуток времени будет пропорционален показаниям прибора 1.

Рассмотрим теперь действие приемника фирмы АЕГ. Принципиальная схема этого приемника изображена на фиг. 62.

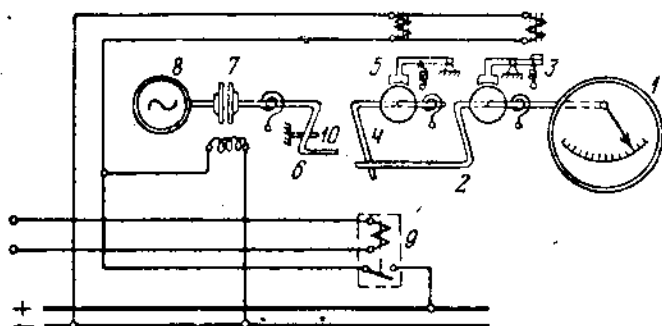
Импульсы тока, приходящие с линии связи, воспринимаются линейным реле 9. При появлении тока в линии это реле замыкает свой контакт и включает электромагнитную муфту 7 и катушки тормозных приспособлений 5 и 3.

При включении муфты 7 вспомогательный моторчик 8 соединяется с переставляющим рычагом 7 и начинает двигать последний от его нулевого положения около упора 10 в направлении к рычагу 2, соединенному со стрелкой указательного прибора 1.

Катушка тормозного приспособления 5, приподнимая тормоз, освобождает промежуточный рычаг 4, который под действием своей пружинки отбрасывается к рычагу 6 и движется дальше вместе с ним.

Катушка тормозного приспособления 3, наоборот, прижимает свой тормоз, затормаживая рычаг 2 и стрелку в том положении, которое они занимали перед получением импульса. Так как скорость вращения моторчика 8 приемника равна скорости вращения моторчика 6 передатчика, то за время импульса переставляющий рычаг 6 и промежуточный рычаг 4 получают угловое перемещение, равное угловому отклонению стрелки измерительного прибора.

При прекращении импульса реле 9, отпустив свои контакты, разомкнет цепи электромагнитной муфты 7 и катушек тормозных приспособлений 5 и 3. Муфта 7 отсоединяет при этом рычаг 6 от моторчика 8, и этот рычаг под действием своей пружинки возвращается в свое



Фиг. 62. Приемник время-импульсного устройства телеизмерения фирмы АЕГ.

1 — указательный прибор; 2 — рычаг, соединенный со стрелкой указательного прибора; 3 — тормозное приспособление рычага 2; 4 — промежуточный рычаг; 5 — тормозное приспособление промежуточного рычага; 6 — переставляющий рычаг; 7 — электромагнитная муфта; 8 — вспомогательный моторчик; 9 — приемное реле; 10 — упор.

положение покоя около упора 10. Катушка тормозного приспособления 5 отпускает тормоз, и последний, прижимаясь к диску рычага 4, затормаживает его в том положении, в которое он был поставлен переставляющим рычагом 6. Тормоз тормозного приспособления 3, наоборот, под действием своей пружинки перемещается вверх и отпускает рычаг 2. Этот рычаг вместе со стрелкой указательного прибора 1 под действием своей пружинки будет отброшен к рычагу 4 и таким образом займет положение, соответствующее положению стрелки передатчика.

Внешний вид приемного прибора время-импульсного устройства АЕГ изображен на фиг. 63. Как можно видеть из этой фигуры, прибор имеет одинаковые размеры с обычным измерительным прибором указательного типа.

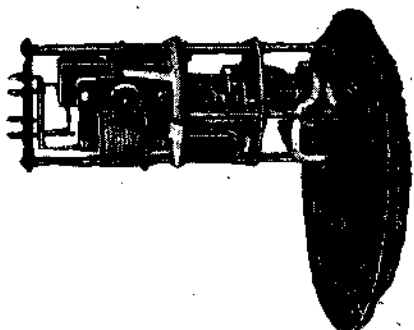
Устройства телеизмерения время-импульсного типа по своим свойствам резко отличаются от описанных выше устройств, работающих по методам интенсивности. Прежде всего передатчик и приемник, как и во всех импульсных устройствах телеизмерения, не требуют непосредственной взаимной электрической связи. Как передача, так

и прием импульсов могут осуществляться линейными реле, которые отделяют приемную и передающую части от линии связи и предохраняют их таким образом от влияния этих линий. Линейные реле могут быть применены как постоянного, так и переменного тока, и в соответствии с этим передача может производиться любым из известных в настоящее время способов по любого рода линиям связи.

Следующим отличительным свойством импульсных устройств телеизмерения является независимость точности телеизмерения от изменения параметров линии связи и колебаний напряжения вспомогательных источников напряжения. Для получения бесперебойной работы устройства достаточно только выбрать линейные реле таким образом, чтобы они надежно срабатывали при наихудших условиях (наибольшей утечке, наинизшем напряжении и т. п.).

Время-импульсные устройства телеизмерения, однако, не вполне свободны от влияния колебаний напряжения вспомогательных источников тока. Как можно было видеть из описания этих устройств, точность передачи зависит в основном от сохранения продолжительности импульса при его преобразовании и передаче по линии связи, которое в сильной степени зависит от постоянства времени срабатывания и отпускания передающих и приемных реле. У большинства типов реле на это время сильно влияет напряжение вспомогательного тока. Эта зависимость сказывается на точности передачи в тем меньшей степени, чем больше продолжительность импульса по сравнению с временем срабатывания и отпускания реле. Поэтому продолжительность импульсов для время-импульсных телеизмерений выбирается сравнительно большой. Так, например, в устройстве ДТВ импульсы следуют друг за другом через каждые 2,5 сек., а в устройстве АЕГ — через каждые 4 сек.

Как можно было видеть из описания время-импульсных устройств телеизмерения, точность передачи непосредственно зависит от равенства скоростей вращения вспомогательных моторчиков передатчика и приемника. Для устранения погрешности, могущей быть вследствие разности чисел оборотов этих моторчиков, обычно применяют маленькие синхронные моторчики (например, типа Варена), подключаемые к сети переменного тока. Если сети в местах передачи и приема работают синхронно, то скорости вращения вспомогательных моторчиков будут одинаковы и при изменении частоты в сети будут изменяться в одинаковой степени. При асинхронной работе сетей в местах приема и передачи разница в числе оборотов моторчиков будет также весьма незначительна, так как частота в современных больших энергосистемах поддерживается с очень большой точностью.



Фиг. 63. Внешний вид приемника время-импульсного устройства телеизмерения фирмы АЕГ.

Суммарная погрешность телеизмерения время-импульсных устройств составляет $1-1\frac{1}{4}\%$ (по данным фирмы ДТВ).

Однако эта величина в значительной мере является условной, так как время-импульсные устройства не дают непрерывного телеизмерения, а только корректируют установку стрелки указательного прибора через определенные промежутки времени. Поэтому приведенная величина погрешности характеризует только точность установки указательного прибора в момент передачи показаний.

Время-импульсные методы телеизмерения с механическими приемниками удобны в отношении суммирования и многократного использования линий связи. Суммирование здесь осуществляется простым сложением отдельных импульсов, следующих друг за другом. В приемном приборе рычаг, переставляющий стрелку указательного прибора, устанавливается при этом на нуль не при каждом импульсе, а только после получения серии импульсов от всех слагаемых величин.

Для суммирования на приемном конце этот метод, однако, неприменим, так как получить последовательную передачу телеизмерений в определенном порядке с различных мест, территориально удаленных друг от друга, трудно.

Поэтому суммирование на приемном конце производится другими методами. Так как момент, даваемый приемными приборами, достаточно велик, то стрелки приемных приборов можно соединить с движками потенциометров и получаемые от потенциометров напряжения суммировать. Таким же путем легко осуществить дальнейшее телеизмерение и многократное указание.

При многократном использовании линии связи для передачи нескольких телеизмерений импульсы от отдельных передатчиков передаются по линии связи последовательно друг за другом. В месте приема они при помощи специальных переключателей направляются на различные приемники.

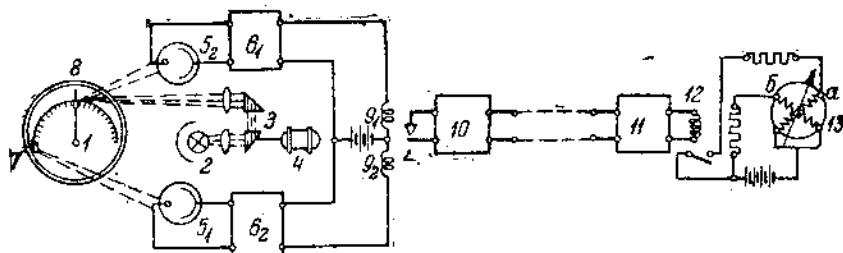
Переключатели на приемном и передающем концах в этом случае несложно синхронизировать, используя для этого сами импульсы телеизмерения.

Благодаря возможности получения большого момента от приемника регистрация измеряемой величины в месте приема не представляет затруднений. Так как в устройствах с механическими приемниками передача происходит периодически, причем передаются мгновенные значения измеряемой величины, то при частых колебаниях измеряемой величины может оказаться, что будут записаны случайные значения ее, имеющие место в момент передачи. Для того чтобы избежать этого, применяют передачу средних значений измеряемой величины. В качестве измерительного прибора в этом случае употребляется счетчик, соединенный со стрелкой, которая измеряет интегральное значение измеряемой величины за определенный промежуток времени, возвращаясь каждый раз в свое нулевое положение. Величина углового отклонения этой стрелки, характеризующая среднее значение измеряемой величины за данный промежуток времени, передается в диспетчерский пункт одним из описанных выше способов.

Недостатками время-импульсных устройств телеизмерения с механическими приемниками являются сложность и в связи с этим большая стоимость передающего и приемного устройств и невозможность непрерывного телеизмерения; поэтому они не получили широкого распространения.

б) Время-импульсные устройства телеизмерения с электрическими приемниками. В время-импульсных устройствах с электрическими приемниками можно получать непрерывные указания измеряемой величины в месте приема. Один из способов такого приема был разработан Ленинградским институтом телемеханики (НИИТ).

Принципиальная схема этого устройства изображена на фиг. 64.



Фиг. 64. Принципиальная схема время-импульсного устройства телеизмерения НИИТ.

1 — измерительный прибор; 2 — осветительная лампочка; 3 — вращающаяся оптическая система; 4 — моторчик, вращающий оптическую систему; 5 — фотоэлемент; 7 — зеркальце в начале шкалы; 8 — зеркальце на стрелке; 9 — дифференциальное реле; 10 — передатчик; 11 — приемник; 12 — приемное реле; 13 — указательный прибор.

Передатчик представляет собой обычный измерительный прибор, на шкале которого около нулевого значения измеряемой величины и на стрелке помещены два зеркальца (7 и 8 на фиг. 64). Перед шкалой помещается оптическая система, состоящая из неподвижной лампочки 2 с рефлектором и подвижных линз и призм 3, вращаемых моторчиком 4. При вращении призм луч света от лампочки обегает шкалу и отражается сперва от зеркальца 7, укрепленного в начале шкалы, а затем от зеркальца 8, укрепленного на стрелке. При отражении от зеркальца 7 луч попадает на фотоэлемент 5₁. Ток от фотоэлемента, проходя через усилитель 6₂, попадает в обмотку 9₂ дифференциального реле, которое при этом замыкает свои контакты и включает передатчик 10. При отражении от зеркальца 8 луч попадает на фотоэлемент 5₂. Ток от этого фотоэлемента, проходя через обмотку 9₁ дифференциального реле, заставляет последнее разомкнуть свои контакты и выключить передатчик 10. Последний будет включен таким образом в течение времени, которое необходимо лучу света для того, чтобы пройти расстояние от зеркальца 7 до зеркальца 8. Это время будет пропорционально измеряемой величине. На приемной стороне импульсы, посылаемые передатчиком 10, проходя через приемник 11, воздействуют на реле 12, включающее цепь постоянного сопротивления. В цепь этого сопротивления включена одна из рамок логометра 13. Если обозначить через $I_{ср}$ среднюю силу тока, протекающую

щего через рамку a прибора 13, а через I_2 — силу тока, протекающего через рамку b этого прибора, то угловое отклонение стрелки прибора будет равно

$$\alpha = \frac{I_{\text{ср}}}{I_2};$$

так как

$$I_{\text{ср}} = I_1 \frac{\tau}{T},$$

где I_1 — амплитудное значение тока импульса;

τ — длительность импульса;

T — промежуток времени от начала одного импульса до начала следующего (фиг. 65), то

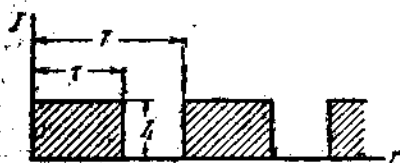
$$\alpha = \frac{I_1}{I_2} \frac{\tau}{T};$$

так как соотношение сил токов I_1 и I_2 постоянно, то при постоянном числе оборотов моторчика, т. е. при $T = \text{const}$,

$$\alpha = k\tau.$$

Показание прибора 13 пропорционально продолжительности импульсов.

Абсолютные значения величин τ и T зависят от числа оборотов двигателя, вращающего призмы 3. Угловое отклонение стрелки прибора 13 от изменения этого числа оборотов, однако, не зависит, поскольку прибор 13 измеряет, как можно видеть из написанных выше соотношений, не абсолютную величину продолжительности импульса τ , а отношение τ к T . При изменении скорости вращения моторчика, вращающего призмы, абсолютные величины τ и T изменятся в одинаковой степени, соотношение же их останется неизменным.



Фиг. 65. Построение импульсов во время-импульсных устройствах телеизмерения.

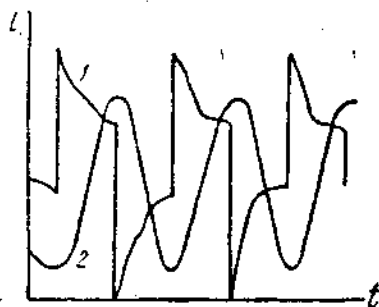
Для получения спокойного положения стрелки прибора 13 быстрота чередования импульсов в телеизмерительном устройстве Института телемеханики значительно больше, чем в устройствах с механическими приемниками, и составляет около 40 импульсов в секунду. При столь быстром чередовании импульсов электромагнитные приемные реле приходится заменять электронными. Это необходимо как для возможности надежного приема импульсов указанной частоты, так и для устранения влияния времени срабатывания и отпускания реле; это время для электромагнитных реле становится при такой частоте импульсов близким к продолжительности самих импульсов.

Увеличение числа импульсов вносит некоторую зависимость точности телеизмерений от изменения постоянных линий связи. Вследствие наличия самоиндукции и емкости линии импульсы тока, проходя по линии связи, изменяют свою форму, благодаря чему изменяется и продолжительность их. При большой продолжительности и

малом числе импульсов это изменение неощутимо. При большом числе импульсов искажение их формы вследствие передачи по линии связи становится ощутимым (фиг. 66) и при изменении параметров линии связи может вызвать дополнительную погрешность.

Большое число импульсов не допускает также применения простых методов многократного использования линий связи, используемых время-импульсными устройствами с механическими приемниками.

Несмотря на простоту принципа действия время-импульсных телеизмерений с электрическими приемниками, эти устройства получаются конструктивно весьма сложными. Этой сложности не удалось избежать и Институту телемеханики, и разработанная им время-импульсная система получилась в конструктивном выполнении неудачной. Из стен института эта система не вышла и эксплуатационно еще не проверена.



Фиг. 66. Осциллограмма передачи импульсов.

1 — ток на передающем конце; 2 — ток на приемном конце.

19. Число-импульсные устройства телеизмерения

Как уже упоминалось в первом разделе настоящей части, в число-импульсных устройствах телеизмерения передача измеряемой величины осуществляется путем передачи за определенный период времени числа импульсов, соответствующего значению измеряемой величины. Передача и прием здесь производятся принципиально так же, как и в устройствах время-импульсного типа, с той разницей, что измеряемая величина передается не сплошным импульсом переменной продолжительности, а рядом импульсов одинаковой продолжительности, но с переменным их количеством. Передатчик измеряет угол отклонения стрелки измерительного прибора и посылает на линию связи определенное число импульсов, соответствующее величине этого угла. Приемник подсчитывает число импульсов и в зависимости от этого числа устанавливает стрелку указательного прибора.

Различают два типа число-импульсных устройств телеизмерения:

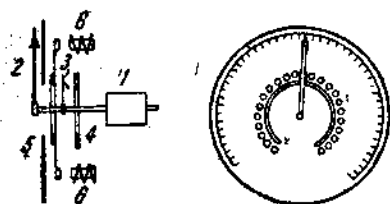
- а) с одинаковой ценой импульсов;
- б) с разной ценой импульсов.

а) Число-импульсные устройства с одинаковой ценой импульсов.

Число-импульсные устройства телеизмерения с одинаковой ценой импульсов производятся фирмой Метрополитен-Виккерс (Англия). Конструктивная схема передающего прибора этого устройства изображена на фиг. 67. Прибор 1, измеряющий величину, подлежащую передаче на расстояние, имеет на своей оси помимо стрелки 2 контактное приспособление 3, перемещаемое над контактным рядом 4 при отклонениях стрелки 2. Это контактное приспособление периодически при помощи нажимного кольца 5 и электромагнитов 6 прижимается к контактному ряду 4.

При этом оно соединяет тот или иной контакт ряда 4 со сплошным кольцом, прислуженным к источнику тока. Одновременно включается шаговый искатель типа, применяемого в автоматической телефонии (описание см. на стр. 190), контакты которого соединены с контактами ряда 4. Этот искатель, перемещая свои щетки с одного контакта на другой, посылает импульсы в линию, отыскивая одновременно в контактном ряду прибора 1, как это делается в автоматических телефонных станциях, тот контакт, на котором имеется напряжение от сплошного кольца. Когда щетки искателя дойдут до этого контакта, срабатывает специальное реле, которое приостанавливает дальнейшее движение искателя.

Во время движения искатель посылает в линию число импульсов, равное числу контактов от нуля шкалы до стрелки измерительного прибора. На приемном конце имеется такой же шаговый искатель,



Фиг. 67. Схема передатчика число-импульсного устройства телеизмерения фирмы Метрополитен-Виккерс.

1 — измерительный прибор; 2 — стрелка; 3 — контактное приспособление; 4 — контактный ряд; 5 — нажимное кольцо; 6 — электромагниты.

который при получении каждого импульса перемещается на один шаг. По окончании передачи серии импульсов приемный искатель будет занимать такое же положение, как и передающий, а угловое отклонение оси его будет соответствовать значению измеряемой величины. Ось приемного искателя соединена со стрелкой, которая указывает на шкале измеряемую величину.

Как можно было видеть из описания число-импульсного устройства фирмы Метрополитен-Виккерс, передача измерений в этом типе устрой-

ства может производиться только периодически. При этом перед каждой серией передачи оба искателя должны устанавливаться на нуль (эта установка осуществляется при помощи релейной схемы). Вследствие этого число-импульсные устройства телеизмерения в качестве непрерывных указателей мало пригодны и в большинстве случаев используются для телеизмерения по вызову, при котором передача измерений происходит не периодически, а по желанию диспетчера.

Точность число-импульсных устройств телеизмерения определяется помимо точности измерительного прибора в основном числом контактов в контактном ряду передатчика.

В описанном устройстве Метрополитен-Виккерс прибор имеет 50 контактов, чем определяется погрешность телепередачи в $\pm 1\%$. Изменение параметров линии связи на точность передачи не влияет. Эта точность зависит исключительно от правильности передачи импульсов, всякие искажения передачи вызывают дополнительную погрешность. Поскольку цена каждого деления составляет 2% от величины шкалы, то исчезновение импульса во время передачи или появление лишнего импульса вследствие влияний со стороны дают дополнительную погрешность в $\pm 2\%$.

Помимо невозможности непрерывного телеизмерения число-импульсные устройства имеют еще и тот недостаток, что они не дают сами по себе возможности суммирования. Суммирование на передающей и на приемной сторонах возможно только с помощью дополнительных устройств. На передающей стороне может быть применено любое суммирующее устройство, указательный прибор которого может быть использован в качестве передатчика. На приемной стороне вследствие большого усилия, развиваемого приемником, стрелка его может быть соединена с движком потенциометра для суммирования по потенциометрическому методу.

б) Число-импульсные устройства с разной ценой импульсов. В число-импульсных устройствах с одинаковой ценой импульсов для достижения удовлетворительной точности применяется передача большого числа импульсов. Это нерационально как в виду большой затраты времени на передачу, так и с точки зрения конструкции приборов.

Значительное сокращение числа импульсов получается при передаче телеизмерений импульсами неодинаковой цены. Сущность этой передачи заключается в том, что передается не число делений шкалы измерительного прибора, а цифровое значение измеряемой величины. Для этого используются принципы так называемого числового кодирования. Более подробно эти принципы рассмотрены при описании устройств телеуправления (см. стр. 182). Здесь же мы остановимся только на так называемом «дуальном» способе числового кодирования, применяемом в телеизмерительных установках фирмой Сименс.

Если взять ряд чисел геометрической прогрессии с показателем 2:

1, 2, 4, 8, 16, 32, 64,

то при помощи комбинации этих чисел можно получить любую цифру, причем каждой полученной цифре будет соответствовать только одна, вполне определенная комбинация членов прогрессии. Так, например, при помощи изображенных выше семи членов прогрессии можно получить любую цифру между 1 и 127. Если импульсам телеизмерения приписать значение членов геометрической прогрессии, то, например, 100 точек шкалы можно будет передать при помощи всего семи импульсов.

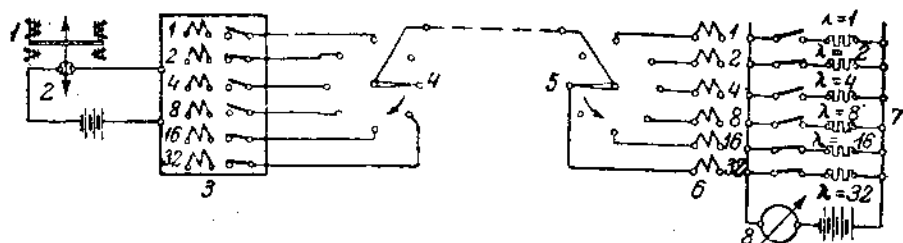
Упрощенная принципиальная схема дуального телеизмерительного устройства Сименс приведена на фиг. 69.

Измерение величины, подлежащей передаче на расстояние, производится счетчиком 1, на оси которого помещается прерыватель 2. Так как скорость вращения оси счетчика пропорциональна измеряемой величине, то число перерывов тока, даваемое прерывателем 2 за



Фиг. 68. Внешний вид передатчика фирмы Метрополитен-Виккерс.

определенный промежуток времени, может служить мерилем измеряемой величины. Это число импульсов подсчитывается специальным релейным устройством 3, которое сообразно числу полученных импульсов дает определенную комбинацию включенных реле, по своему значению образующих в сумме цифру, соответствующую измеренному числу импульсов. На фиг. 69 изображена передача показания, равного 50. В соответствии с этим в релейном устройстве замкнуты контакты реле 2, 16, и 32, образующих в сумме цифру 50. Передача импульсов производится при помощи синхронных переключателей 4 и 5 моторного типа на приемном и передающем концах линии связи (описание см. на стр. 214). Переключатели представляют собой ряд контактов и щетки,двигающиеся синхронно друг с другом и переходящие с одного контакта на другой.



Фиг. 69. Упрощенная принципиальная схема число-импульсного устройства телеизмерения фирмы Сименс.

1 — счетчик; 2 — прерыватель; 3 — передающее релейное устройство; 4 и 5 — искатели; 6 — приемные реле; 7 — набор сопротивлений; 8 — указывающий прибор.

При включении реле 2, 16 и 32 они своими контактами дают потенциал на соответствующие контакты переключающего устройства 4. При прохождении щеток переключающих устройств мимо этих контактов этот потенциал передается приемным реле 6, которые включаются в той же комбинации, что и реле релейного устройства 3.

Своими контактами реле 6 включают сопротивления 7, проводимости которых пропорциональны числам, присвоенным соответствующим реле. Ток, проходящий через сопротивления 7, замеряется прибором 8, показания которого пропорциональны числу импульсов, замеренных релейным устройством 3.

Фирма Сименс применяет код из шести импульсов, в соответствии с чем передающие и приемные устройства имеют по шесть реле. При шести импульсах по дуальному ряду чисел имеется возможность передачи 63 точек. В цепи указательного прибора можно получить значение тока от нуля до максимума ступенями в $\frac{1}{63}$ от максимального тока, что дает теоретическую погрешность передачи примерно в $\pm 1\%$. Практически точность значительно ниже вследствие погрешностей измерительного и указательного приборов, возможности некоторой неточности при подсчете импульсов и т. п. Поэтому фирма Сименс гарантирует для описанного устройства точность телеизмерения только в $\pm 2\%$.

Суммирование в описанном устройстве возможно только на приемном конце, где оно производится при помощи сложения токов отдельных приемников.

Для суммирования на передающем конце необходимо применение специальных суммирующих схем с измерением суммарной величины вращающимся прибором.

Как можно было видеть из описания, число-импульсное устройство фирмы Сименс обладает большой сложностью.

Действительная схема еще сложнее, чем изображенная на фиг. 69, так как в ней имеется целый ряд дополнительных приспособлений, имеющих своим назначением поддерживать синхронное движение щеток переключающих устройств 4 и 5, предупреждать искажение импульсов при передаче их по линиям связи и т. д.

Недостатком дуального устройства фирмы Сименс является возможность телеизмерения только средних величин за промежуток времени около 2 мин., проходящий между передачами серий импульсов. Поэтому оно аналогично число-импульсному устройству Метрополитен-Виккерс и применяется в большинстве случаев не для непрерывной передачи, а только для телеизмерения по вызову совместно с устройствами телеуправления.

Это является следствием того, что в обоих устройствах производится по существу не измерение, а сигнализация положения стрелки измерительного прибора. Поэтому методы передачи измерений приближаются здесь по своему принципу к методам сигнализации, которые, как мы увидим в дальнейшем при рассмотрении устройств телеуправления и телесигнализации, обладают большой сложностью. В рассматриваемом случае для получения удовлетворительной точности для каждого измерительного прибора нужно иметь сигнализацию минимум 50 точек. В дальнейшем будет показано, что передача показаний приборов на расстояние при помощи импульсов разрешается значительно проще путем применения чисто измерительных методов.

20. Импульсно-частотные устройства телеизмерения

В импульсно-частотных устройствах телеизмерения в зависимости от измеряемой величины изменяется частота импульсов, передаваемых по линии связи. Получение этих импульсов не представляет затруднений.

В большинстве импульсно-частотных устройств телеизмерения для этого применяется обычный счетчик переменного тока, на оси которого насажен прерыватель. Так как скорость вращения оси счетчика зависит от значения измеряемой им величины, то от той же величины будет зависеть и число перерывов тока, даваемых прерывателем. Как известно, при разных включениях обмоток счетчика скорость вращения его оси можно сделать пропорциональной активной мощности, реактивной мощности, току, напряжению и т. п. Счетчик может таким образом служить передатчиком практически для всех подлежащих телеизмерению в энергосистемах величин.

Прерыватель соединяется с осью счетчика в большинстве случаев через зубчатую передачу. Это необходимо как для получения в слу-

чае нужды различных скоростей прерывания от стандартных счетчиков, так и для предохранения оси счетчика от толчкообразных усилий, даваемых прерывателем.

Конструкция прерывателя не должна вызывать заметного торможения счетчика, обеспечивая достаточную мощность контактов. При больших расстояниях передачи посылка импульсов в линию производится через промежуточное реле с достаточно мощными контактами, включаемое и выключаемое прерывателем. В качестве промежуточных реле применяются обычно телефонные или телеграфные реле.

Основные трудности конструирования импульсно-частотных устройств возникают в отношении приема импульсов. Приемник в этих устройствах должен представлять собой своеобразный частотомер, измеряющий частоту поступающих с линии импульсов и дающий отклонение стрелки указательного прибора, пропорциональные этой частоте. По ряду конструктивных соображений и по условиям использования линий связи в большинстве устройств импульсно-частотного типа применяется малая частота передаваемых импульсов (от 2,5 до 12 импульсов в секунду для номинального значения). Получение спокойного положения стрелки указательного прибора при измерении этих малых частот затруднительно и требует применения специальных мер для сглаживания импульсов.

По выполнению приемных приборов импульсно-частотные устройства телеизмерения можно разделить на следующие группы:

- а) с механическими приемниками;
- б) с образованием средней силы тока;
- в) с преобразованием импульсов в скорость вращения оси.

а) Импульсно-частотные устройства телеизмерения с механическими приемниками. Устройства телеизмерения этого типа изготавливаются фирмой Броун-Бовери. Передатчиком служит счетчик переменного тока с прерывателем. Схема приемника изображена на фиг. 70.

Импульсы воспринимаются реле 1 и 1', к якорям которых прикреплены собачки 2₁, 2₂ и 2₃ храповых колес 3₁, 3₂ и 3₃. Эти собачки при каждом импульсе перемещают храповые колеса 3₁, 3₂ и 3₃ на один зубец. Положение собачек относительно храповых колес регулируется тягами 5₁, 5₂ и 5₃, которые переставляются по вертикали при помощи колес 6₁, 6₂ и 6₃ с фасонными зубцами. В нижнем положении тяги, как это показано на фиг. 70 для тяги 5₁, собачка 2₁ лежит на зубцах храпового колеса и при каждом импульсе перемещает его. В среднем положении тяги (тяга 5₂ на фиг. 95) собачка приподнята и при своих перемещениях не задевает зубцов храпового колеса. Колесо с перемещением тяги, и удерживается в этом положении стопором 4₂. Наконец, в верхнем положении тяга приподнимает как собачку, так и стопор (тяга 5₃). Храповое колесо под действием пружины (не показанной на фиг. 70) возвращается при этом в нулевое положение.

Храповые колеса 3₁, 3₂ и 3₃ при своем перемещении устанавливают тягу 9, связанную со стрелкой указательного прибора 10. Как можно

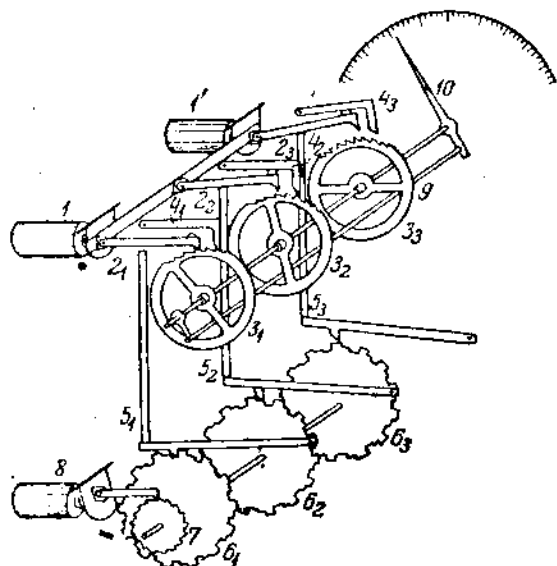
видеть на фиг. 70, тяга 9 и стрелка прибора 10 занимают всегда положение, соответствующее положению храпового колеса, имеющего в данный момент максимальное угловое перемещение.

Колеса b_1 , b_2 и b_3 , перемещающие тяги 5_1 , 5_2 и 5_3 , приводятся в движение при помощи храпового колеса 7 и электромагнита 8, который получает импульсы тока через определенные промежутки времени от специальных часов.

Рассмотрим, как в описанном передатчике происходит прием импульсов, поступающих с линии. Пусть колеса b_1 , b_2 и b_3 находятся в положении, изображенном на фиг. 95, а храповые колеса 3_1 , 3_2 и 3_3 находятся в нулевом положении. Так как в зацеплении с храповым колесом находится только собачка 2₁, то при поступлении импульсов будет перемещаться только храповое колесо 3₁, которое при каждом импульсе будет проворачиваться на определенный угол, захватывая с собой тягу 9 и стрелку указательного прибора 10. Изменение величины углового перемещения храпового колеса 3₁, тяги 9 и стрелки 10 будет определяться во времени, как это изображено на фиг. 82 прямой 1, наклоненной к оси абсцисс.

По истечении времени T реле 8 получает импульс тока и при помощи храпового колеса 7 переводит колеса b_1 , b_2 и b_3 в следующее положение. При этом тяга 5₁ перемещается в среднее положение, тяга 5₂ — в верхнее положение и тяга 5₃ — в нижнее положение. Колесо 3₁ будет заторможено стопором 4₁ в определенном положении, причем угловое перемещение его, а вместе с ним и угловое перемещение тяги 9 и стрелки 10, будет пропорционально числу импульсов, полученных приемником за время T .

Последующие импульсы будут восприниматься храповым колесом 3₂ (кривая 2 на фиг. 71). Если значение измерительной величины не изменилось, то число импульсов, полученных за время T , и угловое перемещение колеса 3₂ будут такие же, как и у колеса 3₁. При полу-

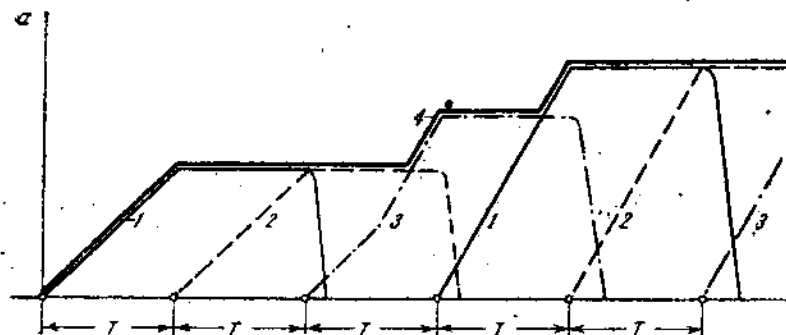


Фиг. 70. Схема импульсно-частотного устройства телеизмерения с механическим приемником фирмы Броун-Бовери.

1 — приемные реле; 2, 2₁, 2₂ и 2₃ — собачки храповых колес; 3₁, 3₂, 3₃ — храповые колеса; 4₁, 4₂ и 4₃ — стопоры храповых колес; 5₁, 5₂ и 5₃ — тяги; 6₁, 6₂ и 6₃ — колеса, переставляющие тяги; 7 — храповое колесо, приводящее в движение колеса 6₁, 6₂ и 6₃; 8 — электромагнит, получающий импульсы времени; 9 — тяга указательного прибора; 10 — стрелка указательного прибора.

чении реле 8 второго импульса и перемещении колес 6_1 , 6_2 и 6_3 в следующее положение колесо 3_3 будет заторможено в занятом им положении, колесо 3_1 возвратится под действием своей пружинки в нулевое положение, а колесо 3_2 будет подготовлено к приему импульсов. Стрелки 10 и тяга 9 останутся в прежнем положении удерживаемые в нем храповым колесом 3_3 , так как угловое перемещение этого колеса равно первоначальному угловому перемещению колеса 3_1 .

Дальнейшие импульсы будут восприниматься храповым колесом 3_2 . Если измеряемая величина в этот момент увеличится, то число импульсов, полученных за время T храповым колесом 3_2 , и угловое перемещение этого колеса будут больше (кривая 3 на фиг. 71). Это колесо,



Фиг. 71. Отклонение стрелки указательного прибора в устройстве телеизмерения фирмы Броун-Бовери.

1 — кривая отклонения храпового колеса 3_1 ; 2 — то же, храпового колеса 3_2 ; 3 — то же, храпового колеса 3_3 ; 4 — кривая отклонения стрелки указательного прибора; T — промежуток времени между срабатываниями реле 8; α — отклонение стрелки указательного прибора.

достигнув положения, занимаемого храповым колесом 3_3 , при своем дальнейшем перемещении захватит тягу 9 и стрелку 10 и установит их в положение, соответствующее новой частоте импульсов.

Таким образом стрелка 10 устанавливается колесами 3_1 , 3_2 и 3_3 всегда в положение, соответствующее числу импульсов, получаемых приемником за время T , а следовательно, также и измеряемой величине.

Описанное телеизмерительное устройство, как и большинство устройств с механическими приемниками, не дает непрерывного телеизмерения. Стрелка указательного прибора устанавливается в правильное положение только периодически. В рассмотренном приемнике это происходит через промежутки времени, равные T . Так как стрелка указательного прибора получает отклонение, пропорциональное количеству импульсов, полученных за время T , то приемный прибор показывает только среднее значение измеряемой величины за время T , которое тем ближе к мгновенным значениям, чем меньше время T . Возможность уменьшения этого времени ограничивается, однако, снижением точности телеизмерения. Как и во всех приемных приборах механического типа с шаговым перемещением стрелки, точность показаний в описанном устройстве зависит от цены каждого импульса.

Для сохранения погрешности телепередачи и указания в пределах $\pm 1\%$ необходимо передавать для номинального значения измеряемой величины не менее 50 импульсов за время T . Это определяет наименьшее значение этого времени.

Практически число импульсов меньше, так как фирма Броун-Бовери выполняет свои приемники не с тремя храповыми колесами, как это изображено на фиг. 70, а с пятью. Время T при той же точности телеизмерения может быть снижено при этом на $\frac{1}{3}$.

Суммирование в импульсно-частотном устройстве Броун-Бовери возможно только при помощи дополнительных приспособлений.

На передающем конце должно быть установлено отдельное суммирующее устройство, которое должно допускать измерение суммарной величины при помощи прибора типа счетчика, или какого-либо другого прибора, дающего вращение оси. Так как приемный прибор дает большой момент, то на приемной стороне суммирование можно осуществить посредством потенциометров, передвигаемых приемными приборами.

Передача нулевого значения измеряемой величины возможна путем сообщения счетчику, измеряющему первичную величину самохода. Передача величин, переменных по направлению, возможна только при помощи специальных дополнительных устройств.

Регистрация на приемной стороне благодаря большому моменту, получаемому в приемном приборе, не требует дополнительных устройств. Для многократного указания требуется превращение положения стрелки указательного прибора в электрическую величину. Это превращение может быть осуществлено, так же как и суммирование, при помощи потенциометров.

Недостатком телеизмерительного устройства Броун-Бовери является конструктивная сложность приемника, необходимость тщательной пригонки деталей и большая их изнашиваемость вследствие непрерывного действия. Эти недостатки компенсируются отсутствием электрических контактов, которые в условиях непрерывной работы, характерной для импульсно-частотных устройств, быстро изнашиваются и требуют частого осмотра и чистки.

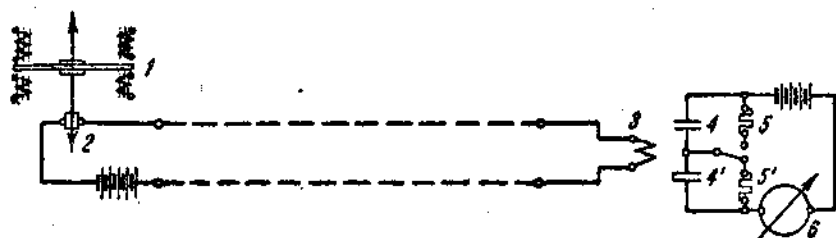
б) Импульсно-частотные устройства телеизмерения с образованием средней силы тока. Принцип действия импульсно-частотных устройств телеизмерения с образованием средней силы тока заключается в том, что приемник преобразует импульсы в ток, средняя величина которого пропорциональна частоте импульсов. Преобразование импульсов в электрический ток производится или посредством конденсаторов или при помощи дроссельных катушек и трансформаторов.

Устройства с конденсаторами производятся фирмами Вестингауз и Сименс. В СССР приемник, основанный на этом принципе, разработан отраслевой лабораторией измерительных приборов (ОЛИЗ) завода «Электроприбор».

Принцип измерения частоты импульсов по средней величине зарядного тока конденсатора известен давно. Впервые он был предложен проф. Бурстин (Burstyn), который указал, что по среднему току, протекающему через конденсатор, перезаряжаемый от переключе-

чателю, можно судить о числе переключений, а если эти переключения осуществляются при помощи вращающейся оси, то о числе оборотов этой оси. Для целей телеизмерения этот способ был использован впервые фирмой Вестингауз, а затем Сименс.

Принципиальная схема телеизмерительного устройства фирмы Сименс приведена на фиг. 72.

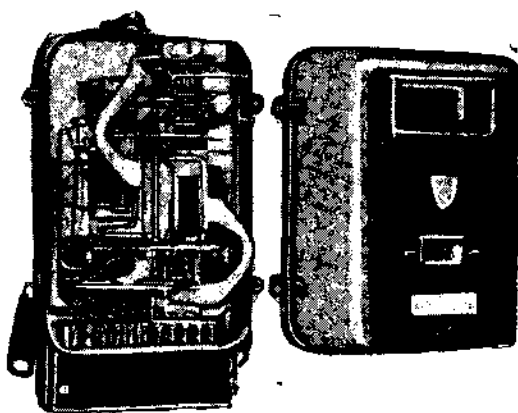


Фиг. 72. Принципиальная схема телеизмерительного устройства импульсно-частотного типа фирмы Сименс.

1 — счетчик переменного тока; 2 — прерыватель; 3 — приемное реле; 4 и 4' — конденсаторы; 5 и 5' — сопротивления; 6 — указательный прибор.

Передачиком служит счетчик, соединенный с прерывателем (фиг. 73). Импульсы тока, даваемые прерывателем, воспринимаются в пункте приема реле 3. Это реле при своем переключении вверх и вниз переключает конденсаторы 4 и 4', поочередно заряжая их и разряжая на сопротивления 5 и 5'. При каждом импульсе реле переключает свои контакты дважды, причем каждый из конденсаторов успевает зарядиться и разрядиться.

В цепи конденсаторов включен приемный прибор 6, который измеряет среднюю силу зарядного тока, проходящую через конденсаторы, равную



Фиг. 73. Внешний вид передатчика импульсно-частотного устройства телеизмерения фирмы Сименс.

$$I_m = 2fCE \cdot 10^{-3} \text{ мА},$$

где f — частота импульсов в секунду;

C — емкость конденсатора в микрофарадах и.

E — напряжение батареи в вольтах.

При $C = \text{const}$ и $E = \text{const}$

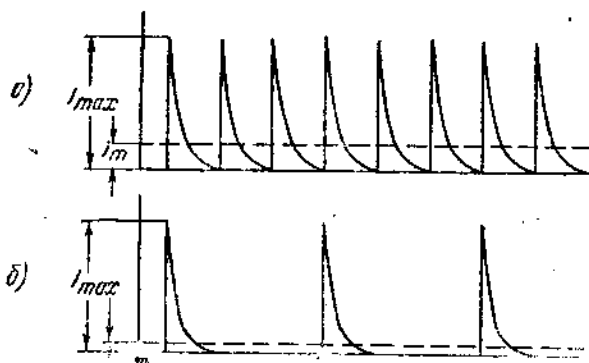
$$I_m = k f \cdot 10^{-3} \text{ мА}.$$

Таким образом сила тока в приемном приборе b пропорциональна числу импульсов, получаемых с линии, и, следовательно, соответствует измеряемой величине.

Кривая тока, протекающего через прибор b , имеет пикообразный характер (фиг. 74) и определяется известным уравнением изменения зарядного тока конденсатора:

$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{T}},$$

где R — сопротивление и T — постоянная времени цепи конденсатора.



Фиг. 74. Форма кривой тока, протекающей через приемный прибор.

a — номинальная нагрузка; $б$ — 30% номинальной нагрузки.

Очевидно, что конденсатор будет успевать заряжаться полностью только до некоторой максимальной частоты импульсов. Если частота импульсов равна f импульсов в секунду, то, обозначив через Q заряд конденсатора, получим среднюю силу тока равной

$$\begin{aligned} i_m &= \frac{Q}{\frac{1}{2f}} = 2f \int_0^{\frac{1}{2f}} i \, dt = 2f \int_0^{\frac{1}{2f}} \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{T}} \, dt = \\ &= -2f \frac{ET}{R} \left| e^{-\frac{t}{T}} \right|_0^{\frac{1}{2f}} = 2f \frac{ET}{R} (1 - e^{-\frac{1}{2fT}}). \end{aligned}$$

Отношение средней силы тока к максимальной ($i_{\max} = \frac{E}{R}$) будет равно

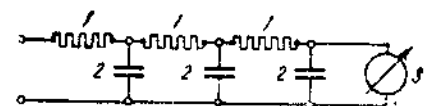
$$\frac{i_m}{i_{\max}} = 2fT (1 - e^{-\frac{1}{2fT}}).$$

При частоте импульсов $f = 0,1 \frac{1}{T}$ получим, что средняя сила тока будет составлять около $\frac{1}{5}$ максимальной силы тока.

Так как кривая силы тока при меньшем числе импульсов не меняется и изменится только расстояние между двумя соседними пиками тока (фиг. 74), то при меньшем числе импульсов соотношения будут еще менее благоприятны. Так, например, при значениях нагрузки в 10% от номинальной величины частота импульсов будет равна $f = 0,01 \frac{1}{T}$. Средняя сила тока будет при этом равна $\frac{1}{50}$ от максимальной силы тока.

Приведенные соотношения дают представление о тех тяжелых условиях, в которых находится в данном случае стрелка указательного прибора. Для получения устойчивого положения стрелки при такой

большой разнице между средней и максимальной силой тока приходится применять специальные меры. Обычные измерительные приборы здесь уже не пригодны. Приходится или заменять их приборами, обладающими баллистическими свойствами, т. е. обладающими значительным моментом инерции при малой переставляющей силе,



Фиг. 75. Включение сглаживающих контуров.

J — сопротивления; 2 — емкости; 3 — указательный прибор.

или же применять контуры, сглаживающие ток, протекающий через указательный прибор. Включение таких контуров показано на фиг. 75.

Рассмотрим вопрос о сглаживании импульсов несколько подробнее.

Как известно, уравнение движения рамки прибора в магнитном поле имеет вид¹

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} + p \frac{d\alpha}{dt} + q\alpha = 0,$$

- где J — момент инерции подвижной системы относительно оси;
 p — тормозный момент от токов Фуко в рамке прибора при скорости перемещения рамки, равной единице;
 q — момент пружины при повороте подвижной системы на угол, равный единице;
 α — угол отклонения подвижной системы.

Наиболее благоприятным случаем при отсутствии колебаний стрелки и наибольшей быстроте реагирования прибора будет случай аperiodического движения рамки.

Характеристическое уравнение написанного выше дифференциального уравнения имеет вид

$$Jx^2 + px + q = 0,$$

отсюда

$$x = -\frac{p}{2J} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2J}\right)^2 - \frac{q}{J}}.$$

¹ См. E. H u d e c, Über die Messung sehr kleiner Frequenzen und ihre Anwendung für Fernmessungen ETZ, 1931, H. 12, S. 380—385.

Для того чтобы движение системы носило аperiодический характер, нужно, чтобы

$$q = \frac{p^2}{4J}.$$

В этом случае подкоренное выражение обращается в нуль, и решение дифференциального уравнения будет иметь вид

$$\alpha = (C_1 + C_2 t) e^{xt} = (C_1 + C_2 t) e^{-\frac{pt}{2J}} = (C_1 + C_2 t) e^{-\frac{t}{\tau}},$$

где $\tau = \frac{2J}{p}$ — постоянная времени прибора.

При $t = 0$ угол отклонения подвижной системы прибора $\alpha = 0$. Поэтому $C_1 = 0$. Уравнение принимает вид

$$\alpha = C_2 t e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

При $t = 0$ подвижной системе сообщается максимальная скорость $\omega_{\max}$. При максимальном отклонении $\alpha_{\max}$ скорость $\omega = 0$. Определим из этого условия значение второй постоянной:

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} = C_2 e^{-\frac{t}{\tau}} - C_2 \frac{t}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} = C_2 \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Приравнявая это выражение нулю, получим возможность определить из него значение t , при котором $\alpha = \alpha_{\max}$.

$$C_2 \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) e^{-\frac{t}{\tau}} = 0,$$

отсюда

$$t = \tau.$$

Подставим это значение в уравнение для α и получим

$$\alpha_{\max} = C_2 \tau \cdot e^{-1},$$

отсюда

$$C_2 = \frac{\alpha_{\max} e}{\tau}$$

и

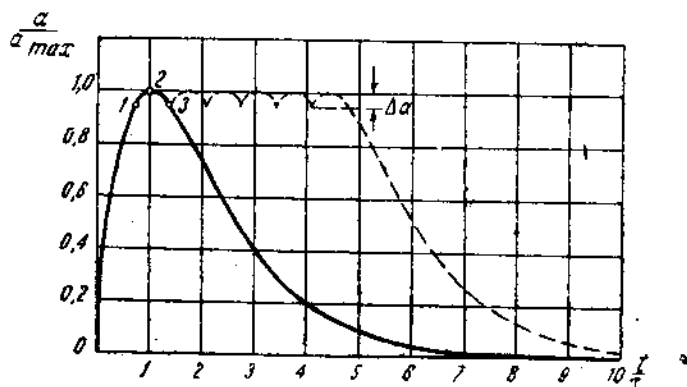
$$\alpha = C_2 t e^{-\frac{t}{\tau}} = \alpha_{\max} \frac{t}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

На фиг. 76 показано изменение $\frac{\alpha}{\alpha_{\max}}$ в зависимости от $\frac{t}{\tau}$. Сначала угол отклонения подвижной системы возрастает, затем, достигнув при $\frac{t}{\tau} = 1$ максимума, он начинает падать. Если в точке 3 дать подвижной системе прибора новый толчок, так чтобы она приобрела скорость, которой она обладала в точке 1, то она повторит пройденный путь 1-2-3. При регулярном поступлении импульсов

будут происходить колебания подвижной системы между некоторыми значениями угла отклонения $\alpha_{\max}$ и $\alpha_{\min}$.

Колебания подвижной системы вызывают в импульсно-частотных устройствах указанное выше неспокойное положение стрелки, которое затрудняет отсчет по шкале прибора. Для того чтобы сделать этот отсчет возможным, требуют, чтобы колебания стрелки составляли не больше 1% от максимального значения шкалы.

Определим из полученного выше выражения для α величину времени установки прибора. Последнее, как известно, представляет собой время, которое необходимо подвижной системе прибора при внезапном прекращении тока в его рамке, для того чтобы достигнуть отклонения, равного 1% от первоначального.



Фиг. 76. Изменения отклонения подвижной системы прибора в зависимости от $\frac{t}{T}$.

Как было показано выше, максимум отклонения получается при $\frac{t}{\tau} = 1$ (точка 2 на кривой фиг. 74). Перенесем начало отсчета в эту точку и получим

$$\alpha = \alpha_{\max} \left(1 + \frac{t}{\tau} \right) e^{-\frac{t}{\tau}};$$

для $\alpha = 0,01 \alpha_{\max}$ будем иметь

$$\left(1 + \frac{T}{\tau} \right) e^{-\frac{T}{\tau}} = 0,01,$$

отсюда

$$\frac{T}{\tau} = 6,64 \text{ или } T = \tau 6,64.$$

Таким образом время установки прибора зависит от его постоянной времени. Легко показать, что существует определенная зависимость между постоянной времени прибора или временем его установки и величиной колебаний стрелки при получении импульсов. Для этого

определим зависимость между величиной этих колебаний и величиной отклонения подвижной системы α .

Так как величина колебаний не должна превышать 1% от максимального значения шкалы, то можно положить, что момент пружины $q\alpha$ в пределах колебания постоянен. Кроме того, так как скорость на участке кривой 1-2-3 мала, можно пренебречь моментом от демпфирования, положив $p = 0$.

При наличии импульса подвижная система прибора будет находиться под действием момента M от тока, протекающего в его рамке. Уравнение движения подвижной системы будет при наличии сделанных выше допущений иметь вид

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} + M_1 = M,$$

где $M_1 = q\alpha = \text{const}$ — противодействующий момент пружины.

Если в качестве переменной величины взять скорость перемещения подвижной системы, то написанное уравнение примет вид

$$J \frac{d\omega}{dt} + M_1 = M,$$

отсюда

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M - M_1}{J}$$

и

$$\omega = C + \frac{M - M_1}{J} t.$$

Примем за начало отсчета времени момент, когда $\alpha = \alpha_{\min}$ (точка 1 на фиг. 77). Поэтому

$$\omega = \frac{M - M_1}{J} t.$$

К моменту прекращения импульса (точка 2 на фиг. 77) скорость равна

$$\omega_1 = \frac{M - M_1}{J} t_{12}.$$

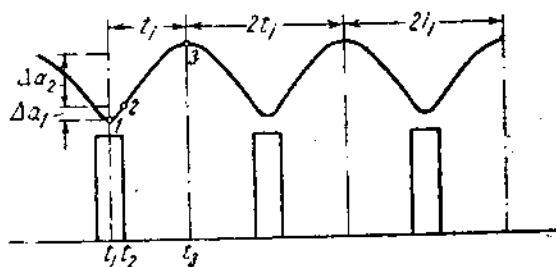
Средняя скорость за время t_{12}

$$\omega_{1 \text{ ср}} = \frac{\omega_1}{2},$$

а угол отклонения подвижной системы

$$\Delta\alpha_1 = \omega_{1 \text{ ср}} t_{12} = \frac{(M - M_1)}{2J} t_{12}^2.$$

В момент t_2 импульс прекращается. Подвижная система прибора движется дальше за счет приобретенной за время t_{12} кинетической энергии, замедляя свою скорость до момента времени t_3 , когда даль-



Фиг. 77. Изменение отклонений подвижной системы прибора при получении импульсов.

нейшее отклонение подвижной системы прекращается, и она под влиянием момента пружины начинает возвращаться обратно. Время t_{12} определяется из уравнения:

$$\omega_1 = \frac{M_1}{I} t_{23} = \frac{M_1}{I} (t_i - t_{12}),$$

где $t_i = \frac{1}{2f}$ — время, равное половине периода одного импульса (f — частота импульсов). Средняя скорость за время t_{23} равна

$$\omega_1 \text{ ср} = \frac{\omega_1}{2}$$

и угол отклонения подвижной системы

$$\Delta\alpha_2 = \omega_1 \text{ ср} t_{23} = \frac{M_1}{2I} (t_i - t_{12})^2.$$

Полное колебание подвижной системы за время между получением двух импульсов

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2 = \frac{M - M_1}{2I} t_{12}^2 + \frac{M_1}{2I} (t_i - t_{12})^2.$$

Время t_{12} в импульсно-частотных устройствах с зарядом конденсаторов обычно очень мало по сравнению с периодом следования импульсов ($t_{12}: t_i = 0,01$ и меньше). Поэтому первым членом написанного выше уравнения можно пренебречь.

Тогда

$$\Delta\alpha = \frac{M_1}{2I} (t_i - t_{12})^2 = \frac{q\alpha}{2I} t_i^2;$$

так как $t_i = \frac{1}{2f}$, а $\alpha = kf$ (отклонение стрелки пропорционально частоте импульсов), то

$$\Delta\alpha = \frac{q \cdot k \cdot f}{2I \cdot 4f^2} = \frac{C}{f},$$

т. е. обратно пропорционально частоте импульсов, или, что все равно, обратно пропорционально измеренной величине.

При малом значении измеренной величины колебания получаются очень большими. Согласно временным техническим условиям на устройство телеизмерения эти колебания не должны превышать 1% от всей шкалы измерительного прибора при показаниях в 10% от номинальной величины. Обычно это требование облегчается тем, что нулевое значение величины передается таким количеством импульсов, при котором колебания стрелки удовлетворяют этим условиям уже в начале шкалы. Так, например, в описанном выше устройстве Сименса нулевое значение телеизмеряемой величины передается 20% импульсов, что достигается приданием счетчику передатчика соответствующей величины самохода.

Обычно принимают, что колебания стрелки указательного прибора не должны превышать 1% при 20% от числа импульсов, соответствующей

щего номинальному значению измеряемой величины. По отношению к этой величине колебания $\Delta\alpha$ будут составлять 5%.

Из уравнения

$$\alpha = \alpha_{\max} \left(1 + \frac{t}{\tau}\right) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

для $\frac{\alpha}{\alpha_{\max}} = 0,95$ получим

$$\frac{t_i}{\tau} = 0,35.$$

Так как каждому импульсу в линии соответствуют два импульса в указательном приборе (при каждом импульсе происходит два перезаряда конденсатора), то для продолжительности импульсов в линии t_m будем иметь

$$\frac{t_m}{\tau} = \frac{4t_i}{\tau} = 1,4.$$

Для номинального числа импульсов продолжительность каждого импульса $t_n = \frac{t_m}{5}$. Поэтому

$$\frac{t_n}{\tau} = \frac{1,4}{5} = 0,28.$$

Качество приемника импульсно-частотного устройства телеизмерения, характеризующее величину сглаживания, которое в нем достигается, определяется отношением времени установки прибора к длительности импульса при номинальном значении измеряемой величины. Это отношение можно рассматривать как коэффициент добротности телеизмерительного устройства

$$D = \frac{T}{t_n}.$$

Так как $T = 6,64 \tau$, то для рассмотренного выше случая баллистического гальванометра с предельной величиной апериодического движения получим

$$D = \frac{T}{t_n} = \frac{6,64\tau}{t_n} = \frac{6,64}{0,28} = 23,7.$$

Если задаться временем установки в 10 сек., то получим минимально допустимую частоту импульсов

$$f_n = \frac{1}{t_n} = \frac{23,7}{10} = 2,37 \text{ импульсов в секунду.}$$

В описанном выше телеизмерительном устройстве фирмы Сименс частота импульсов составляет 12 импульсов в секунду. При этой частоте время установки

$$T = \frac{D}{f_n} = \frac{23,7}{12} \approx 2 \text{ сек.,}$$

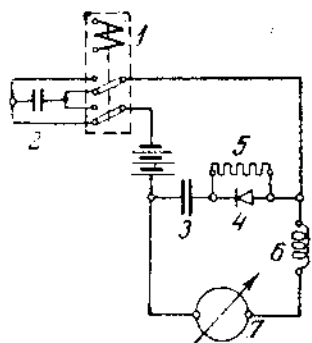
т. е. не отличается от времени установки обычных измерительных приборов.

Подсчеты, произведенные Hudec¹, показывают, что увеличение инерции движущейся системы прибора (апериодическое движение за пределами критического) ухудшает сглаживание. Так, например, для

$$J = \frac{p^2}{2q} \quad \left(\text{для критического апериодического движения } J = \frac{p^2}{4q} \right)$$

коэффициент добротности $D \approx 40$.

Применение сглаживающих контуров, подобных изображенному на фиг. 75, также не дает уменьшения коэффициента добротности. В этом случае коэффициент добротности, близкий к величине, получаемой для баллистического гальванометра, удастся получить только при большом числе контуров сглаживания. Применение сглаживания при помощи контуров несколько нарушает, однако, пропорциональность между силой тока в указательном приборе и числом импульсов. При суммировании это вносит дополнительную погрешность. Так как баллистические приборы дороги и требуют большого эксплуатационного обслуживания, то обычно в импульсно-частотных устройствах применяют сглаживающие контуры, мирясь с увеличением коэффициента добротности и некоторым нарушением пропорциональности.



Фиг. 78. Приемное устройство фирмы Вестингауз.

1 — приемное реле; 2 — измерительный конденсатор; 3 — выравнивающий конденсатор; 4 — вентильное устройство; 5 — сопротивление; 6 — самоиндукция; 7 — указательный прибор.

Оригинальная схема сглаживания применена в импульсно-частотном устройстве телеизмерения фирмы Вестингауз (фиг. 78). Импульсы, получаемые от передатчика, который представляет собой счетчик с прерывателем, принимаются реле 1. Это реле, переключая свои контакты, перезаряжает измерительный конденсатор 2. Зарядный ток конденсатора проходит через две параллельные цепи, в одной из которых включен дроссель 6 и указательный прибор 7, а в другой вентильное устройство 4, зашунтированное большим сопротивлением 5, и сглаживающий конденсатор 3. Благодаря наличию в цепи указательного прибора дросселя 6, который в первый момент представляет для тока перезаряда конденсатора большое сопротивление, большая часть этого тока направляется через вентильное устройство 4 и сглаживающий конденсатор 3. После окончания заряда измерительного конденсатора 2 энергия, накопленная в сглаживающем конденсаторе 3, разряжается на цепь указательного прибора 7. Разрядный ток конденсатора 3 может проходить только через сопротивление 5, так как для вентильного устройства 4 это направление тока будет запирающим. Величина сопротивления 5 выбрана большой, и поэтому

¹ См. сноску на стр. 122.

разряд конденсатора 3 происходит медленно, и стрелка указательного прибора стоит спокойно.

В качестве вентильного устройства применяются сухие выпрямители, которые не требуют вспомогательных источников тока. Емкость сглаживающего конденсатора выбирается значительно большей, чем измерительного. В устройстве телеизмерения Вестингауз сглаживающий конденсатор имеет емкость в 20 мФ при емкости измерительного конденсатора в 0,25 мФ. Частота импульсов составляет при номинальном значении измеряемой величины 3,33 импульсов в секунду (200 импульсов в минуту). Ток в линии 50 мА. Сопротивление линии до 30 000 Ω .

Следует указать, что применение описанной схемы увеличивает время установки указательного прибора и по данным лиц, имевших возможность видеть телеизмерительное устройство Вестингауз в действии¹, время установки составляет 15—30 сек.

Точность телеизмерения удовлетворительна, лишь начиная с 20—25% шкалы.

Помимо схемы сглаживания импульсов в устройстве фирмы Вестингауз интересен также способ телеизмерения величин, меняющих свое направление. Для этого применяется небольшой моторчик, вращающий щетки прерывателя в направлении, обратном направлению вращения оси прерывателя. Последний представляет собой небольшой коллектор, соединенный зубчатой передачей с осью счетчика. При нулевой нагрузке, когда ось счетчика и коллектор стоят неподвижно, этот моторчик, перемещая щетки по коллектору, дает около двух импульсов в секунду. При этой частоте стрелка приемного прибора устанавливается посредине шкалы. Если измеряемая величина положительна, то коллектор прерывателя вращается в направлении, противоположном направлению вращения щеток. Число импульсов при этом увеличивается, и стрелка приемного прибора перемещается вправо от нуля шкалы. Если значение измеряемой величины отрицательно, то коллектор прерывателя вращается в ту же сторону, что и щетки. Количество импульсов уменьшается, и стрелка указательного прибора отклоняется влево от нуля шкалы.

В последнее время описанный способ используется также фирмой Сименс, которая применяет его как для телеизмерения величин, изменяющих свое направление, так и для передачи нулевого значения измеряемой величины.

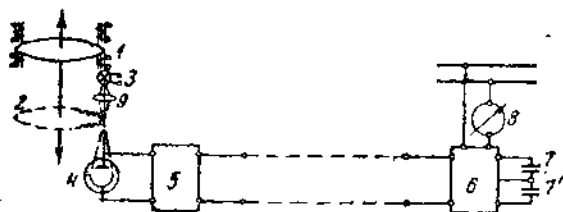
Как было показано выше, величина колебаний стрелки указательного прибора в импульсно-частотных устройствах обратно пропорциональна частоте импульсов. Поэтому колебание стрелки можно уменьшить, идя по пути увеличения числа импульсов.

По этому пути пошла Отраслевая лаборатория измерений (ОЛИЗ) завода «Электроприбор» в своем фотоимпульсном телеизмерительном устройстве. Принципиальная схема этого устройства изображена на фиг. 79.

¹ См. «Американская техника и промышленность» № 3 за 1935 г., инж. М. Л. Цуккерман «Американские телеизмерительные системы и приборы».

В качестве передатчика в этом устройстве, так же как и в описанных выше устройствах фирмы Сименс и Вестингауз, применен счетчик переменного тока. Однако вместо механического прерывателя здесь вследствие большого числа импульсов применен фотоэлектрический прерыватель.

Диск счетчика-передатчика 2 имеет по своей окружности вырезы (в нормальной конструкции число вырезов равно 50). Над диском помещена лампочка накаливания 3. Свет от этой лампочки при помощи оптической системы 9 фокусируется на плоскости диска счетчика в том месте, где проходят его зубцы. Под диском на пути луча света помещен фотоэлемент 4. При вращении диска вырезы и выступы, проходя мимо источника света, то закрывают, то открывают его. Фотоэлемент 4 получает пульсирующее освещение, частота которого зависит от скорости вращения счетчика.



Фиг. 79. Принципиальная схема фотоимпульсного устройства телеизмерения ОЛИЗ.

1 — счетчик переменного тока; 2 — диск с прорезами; 3 — лампочка накаливания; 4 — фотоэлемент; 5 — усилитель; 6 — электронное реле; 7 и 7' — измерительные конденсаторы; 8 — указательный прибор; 9 — оптическая система.

Импульсы тока, даваемые фотоэлементом, усиливаются в усилителе 5 и направляются в линию. В месте приема эти импульсы воздействуют на электронное реле 6. Последнее, так же как и в устройстве телеизмерения фирмы

Сименс, перезаряжает при каждом импульсе конденсаторы 7 и 7'. Зарядный ток конденсаторов измеряется приемным прибором 8, стрелка которого дает отклонение, пропорциональное измеряемой величине.

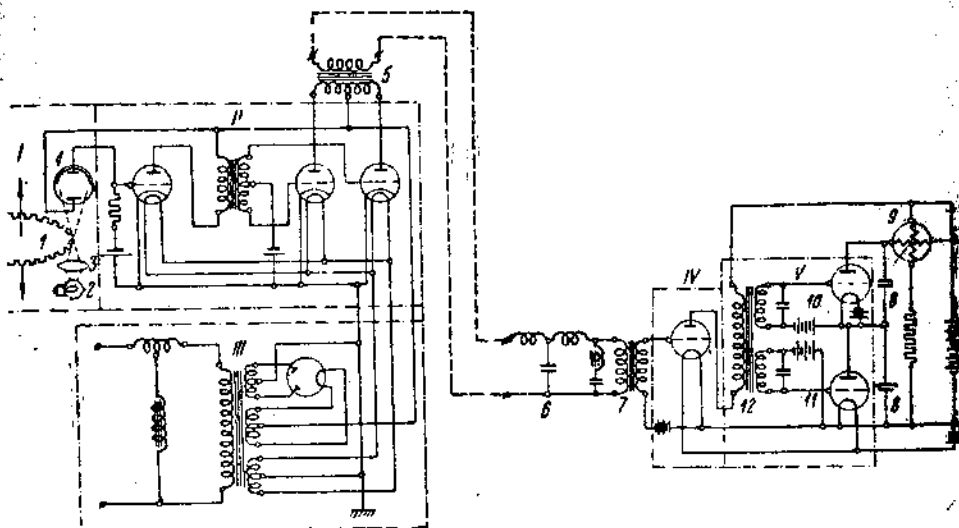
Более подробная схема фотоимпульсного устройства ОЛИЗ изображена на фиг. 80.

Импульсы тока, даваемые фотоэлементом 4, усиливаются в двухступенчатом усилителе II и через выходной трансформатор 5 направляются в линию связи. Благодаря наличию трансформатора в линию попадает только переменная составляющая импульсов, и передача по линии осуществляется по существу переменным током различной частоты.

В пункте приема полученный с линии ток проходит через фильтр 6 и через входной трансформатор 7 попадает на усилительную лампу IV. После усилителя ток поступает в трансформатор 12 катодного частотомера V. Вторичные обмотки этого трансформатора, дающие потенциалы на сетки электронных ламп 10 и 11, взаимно повернуты на 180°. Поэтому, если на сетку одной лампы подается положительная полуволна, то на сетку другой лампы одновременно поступает отрицательная полуволна. В сетки обеих ламп включены батареи смещения по 20 В в каждой, которые при отсутствии импульсов запирают ток в обеих лампах.

При поступлении импульсов обе лампы поочередно открываются, разряжая через себя конденсаторы 8 и 8'. Зарядный ток конденсаторов проходит через указательный прибор 9. Последний является логометром, благодаря чему показания его не зависят от колебаний напряжения вспомогательного тока.

Частота импульсов в фотоимпульсном устройстве ОЛИЗ составляет от 4 до 45 в секунду. Так как верхний предел этой частоты близок к частоте 50 периодов промышленного тока, то при передаче измерений в пределах города или по линиям связи, проходящим близко



Фиг. 80. Схема фотоимпульсного устройства телеизмерения ОЛИЗ.

1 — передатчик; II — усилитель; III — выпрямитель; IV — приемный усилитель; V — катодный частотометр; 1 — диск счетчика; 2 — лампочка накаливания; 3 — оптическая система; 4 — фотоэлемент; 5 — выходной трансформатор; 6 — фильтр; 7 — входной трансформатор; 8 и 8' — измерительные конденсаторы; 9 — указательный прибор; 10 и 11 — лампы электронного реле.

к проводам высокого напряжения, имеет место влияние тока промышленной частоты на показания приемных приборов. Для устранения этого влияния в линию перед входным трансформатором включается фильтр (6 на фиг. 80), который задерживает 50-периодный ток.

Погрешность телеизмерения в фотоимпульсном устройстве ОЛИЗ составляет $\pm 2,0\%$. Несмотря на увеличение числа импульсов, в фотоимпульсном устройстве ОЛИЗ не удалось получить устойчивое положение стрелки указательного прибора в пределах всей шкалы. Как показывает практика применения этих устройств, при величинах ниже 5—10% шкалы стрелка указательного прибора начинает давать сильные колебания, которые делают невозможным отсчет по прибору.

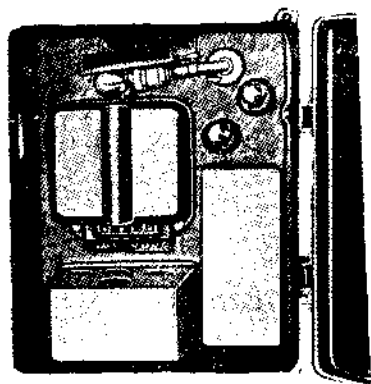
Внешний вид передатчика фотоимпульсного устройства ОЛИЗ изображен на фиг. 81. В верхней части видна лампочка накаливания для освещения фотоэлемента, в середине помещается счетчик с опти-

ческой системой, а внизу — фотоэлемент. Справа находятся две лампы и трансформатор усилителя.

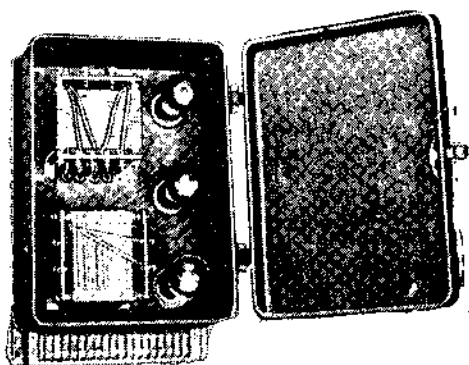
Внешний вид приемника изображен на фиг. 82.

Увеличение частоты импульсов в импульсно-частотных устройствах телеизмерения и, в частности, в фотоимпульсном устройстве ОЛИЗ, позволяя получить более простыми путями спокойное положение стрелки приемного прибора, вместе с тем вносит ряд трудностей конструктивного порядка и ряд трудностей в отношении использования линий связи.

Трудности конструктивного порядка заключаются в выполнении прерывателей и приемных реле. Обычно в импульсно-частотных устройствах телеизмерения прерыватель выполняется в виде коллектора, сидящего непосредственно на оси счетчика или же соединенного с этой



Фиг. 81. Внешний вид передатчика фотоимпульсного устройства телеизмерения ОЛИЗ.



Фиг. 82. Внешний вид приемника фотоимпульсного устройства телеизмерения ОЛИЗ.

осью зубчатой передачей. Конструкция прерывателя не должна давать значительного торможения от трения щеток по коллектору, чтобы не увеличивать погрешности передатчика. Это представляет известные трудности уже при том числе импульсов, которое имеет место, например, в телеизмерительном устройстве фирмы Сименс.

Максимальное число оборотов оси у нормальных счетчиков может составлять не более 2 в секунду. Для получения 12 импульсов в секунду нужно поэтому иметь на коллекторе шесть проводящих и шесть изолирующих пластин, т. е. он должен быть разделен на 12 частей. Выполнить такой коллектор с малым диаметром трудно, и поэтому момент трения, пропорциональный величине диаметра коллектора, получается значительным. При большем числе импульсов эти трудности становятся еще большими.

Большое число импульсов также невыгодно и с точки зрения работы контактов прерывателей и приемных реле. При 12 импульсах в секунду число переключений, которое приходится осуществлять контактам, составляет около 1 млн. в день, или 365 млн. в год. Такое количество переключений ставит работу переключателей и контактов приемных

реле в очень тяжелые условия. При получении средней силы тока в конденсаторной схеме условия работы контактов, правда, несколько облегчаются, поскольку они вследствие быстроты заряда конденсаторов размыкаются всегда при отсутствии тока. Износ контактов здесь имеет место, наоборот, при замыкании контактов, так как в силу упругости материала они замыкаются не сразу, а предварительно несколько раз сходятся и расходятся. При этом зарядный ток конденсаторов во время замыкания несколько раз прерывается, что ведет к искрению и обгоранию контактов.

Указанные трудности заставляют при большом числе импульсов переходить к безконтактным устройствам, применяя, как это сделано в фотоимпульсном устройстве телеизмерения ОЛИЗ, электронную аппаратуру.

Применение электронной аппаратуры имеет, однако, свои недостатки. Эти недостатки заключаются, главным образом, в значительном усложнении или увеличении числа источников питания и необходимости своевременной смены электронных ламп, имеющих определенный срок горения.

Так, например, устройство ОЛИЗ при питании на постоянном токе требует на передающем конце трех батарей, а на приемном конце двух общих и по четыре отдельных батареи на каждый приемник. При питании от переменного тока на приемном конце помимо источника переменного тока нужно иметь батарею напряжением 240 В.

В отношении использования линий связи большое число импульсов ограничивает возможность передачи в подтональной полосе частот с одновременным использованием линий связи для других целей.

При передаче тональными частотами устройства телеизмерения с большим числом импульсов требуют применения специальной аппаратуры. Стандартная аппаратура допускает передачу с частотой импульсов не больше 16 импульсов в секунду. При передаче в надтональном и высокочастотном спектрах устройства с большой частотой импульсов также требуют усложнения передающих и приемных устройств.

Как было показано на стр. 120, сила тока, проходящая через указательный прибор в устройствах телеизмерения с зарядкой конденсатора,

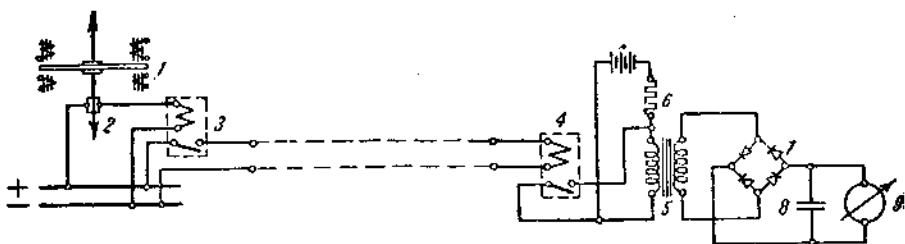
$$i = 2fCE \cdot 10^{-3} \text{ mA.}$$

Эта сила тока пропорциональна частоте импульсов только при условии постоянства емкости конденсаторов и постоянстве напряжения вспомогательных источников тока.

Для обеспечения постоянства емкости в телеизмерительных устройствах применяют обычно специальные конденсаторы, отличающиеся большим постоянством емкости. Независимость от колебаний напряжения вспомогательных источников тока достигается или при помощи стабилизации напряжения (Вестингауз) или же применением приборов со скрещенными катушками — логометров (Сименс и ОЛИЗ).

Получение средней силы тока, пропорциональной числу импульсов, возможно не только при помощи конденсаторов, но и при помощи дру-

гих устройств, дающих при каждом импульсе определенное количество энергии. Таким устройством может служить, например, трансформатор, первичная обмотка которого включается при получении каждого импульса на напряжение постоянного тока. Вторичная обмотка при



Фиг. 83. Принципиальная схема импульсно-частотного устройства телеизмерения фирмы Джeneralь Электрик.

1 — счетчик; 2 — прерыватель; 3 — передающее реле; 4 — приемное реле; 5 — трансформатор; 6 — дополнительное сопротивление; 7 — выпрямитель; 8 — сглаживающий конденсатор; 9 — указательный прибор.

каждом импульсе будет давать при этом толчок тока, причем средняя сила тока, протекающая через нее, будет пропорциональна частоте включений первичной обмотки.

Этот принцип получения средней силы тока применяется в импульсно-частотном устройстве телеизмерения фирмы Джeneralь Электрик К^о. Принципиальная схема приведена на фиг. 83.

Посылка импульсов осуществляется уже известным способом счетчика переменного тока с прерывателем (1 и 2 на фиг. 83). Включение линии производится через контакты промежуточного реле 3. На приемном конце импульсы воспринимаются реле 4, которое при наличии тока замыкает свои контакты и закорачивает первичную обмотку трансформатора 5, нормально включенную на напряжение постоянного тока через сопротивление 6. При замыкании контактов магнитный поток в трансформаторе падает почти до нуля, при размыкании же их восстанавливается до прежнего значения. Напряжение, получаемое во вторичной обмотке трансформатора при изменении его магнитного потока, выпрямляется выпрямителем и измеряется прибором 9. Так как при каждом импульсе изменение магнитного потока трансформатора происходит на постоянную величину, то сила тока в вторичной обмотке трансформатора 5 пропорциональна числу импульсов. Этой же величине

будут пропорциональны и отклонения стрелки указательного прибора 9.

Внешний вид приемного прибора изображен на фиг. 84.



Фиг. 84. Приемник импульсно-частотного устройства фирмы Джeneralь Электрик.

Частота импульсов в описанном устройстве при номинальном значении измеряемой величины равна 5 импульсам в секунду. Ток в линии 15—30 мА. Сопротивление линии до 30 000 Ω . Погрешность телеизмерения $\pm 2\%$. Время установки благодаря наличию в приемной цепи ряда индуктивностей велико и составляет около 30 сек.

Недостатком импульсно-частотных устройств телеизмерения с приемным трансформатором является зависимость показаний указательного прибора от величины сопротивления в цепи вторичной обмотки трансформатора и, в частности, от температурных изменений этого сопротивления и температурных изменений сопротивления источника. Эти показания зависят также от колебаний напряжения источника тока.

Контакты приемного реле находятся здесь в значительно менее благоприятных условиях, чем в устройствах с приемными конденсаторами, так как размыкание контактов происходит под током, что ведет к их сильному износу.

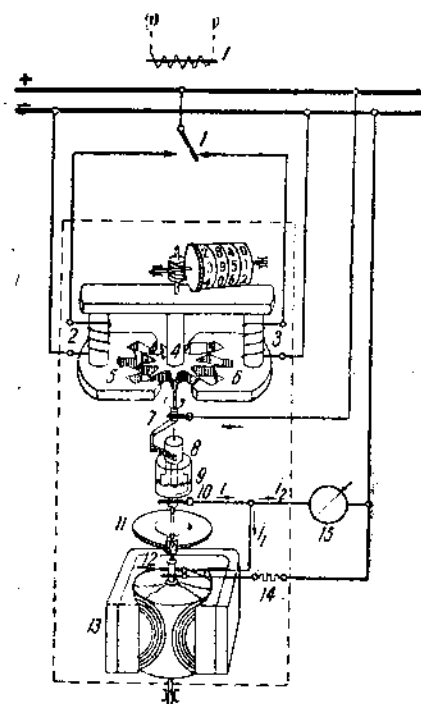
в) Импульсно-частотные устройства телеизмерения с преобразованием импульсов в скорость вращения оси. Измерение частоты импульсов можно производить, преобразовывая частоту импульсов в скорость вращения оси и измеряя эту скорость при помощи какого-либо электрического прибора. Это преобразование можно осуществлять довольно простыми методами, заставив ось проворачиваться при получении каждого импульса на определенный угол. Несколько труднее измерять скорость вращения оси электрическими приборами, так как для этого ее предварительно нужно преобразовать в электрический ток или напряжение.

Один из способов этого преобразования заключается в том, что скорость вращения оси прибора, принимающего импульсы, компенсируется вращающимся прибором, получающим питание от местной сети. Если взять при этом такой прибор, скорость вращения которого пропорциональна току, протекающему через него, то величина этого тока может служить мерилom скорости вращения оси, воспринимающей импульсы, и вместе с этим мерилom числа импульсов, поступающих с линии.

Этот принцип использован в импульсно-компенсационном устройстве телеизмерения фирмы АЕГ. Схема приемника приведена на фиг. 85.

Импульсы воспринимаются реле 1, которое, переключая свои контакты, включает поочередно катушки 2 и 3 импульсного моторчика. Якорь 4 и полюсные наконечники 5 и 6 моторчика снабжены зубцами. При возбуждении одной из катушек электромагнита якорь стремится встать в положение, при котором его зубцы возможно ближе к зубцам полюсного наконечника. При возбуждении другой катушки якорь стремится занять такое же положение по отношению к зубцам другого полюсного наконечника. Зубцы якоря и полюсных наконечников расположены так, что при переключении катушек якорь поворачивается на определенный угол, вращаясь все время в одном направлении. Скорость вращения якоря пропорциональна числу переключений катушек 2 и 3 и числу импульсов, получаемых реле 1.

Импульсный моторчик приводит в движение щетку 7, которая передвигается по многопластинчатому коллектору 8. Последний приводится во вращение в том же направлении, что и щетка 7, от оси счетчика амперчасов 13. К пластинкам коллектора 8 присоединено сопротивление 9, включенное в цепь якоря счетчика 13. При дви-



Фиг. 85. Схема приемника импульсно-компенсационного устройства телеизмерения фирмы АЕГ.

1 — приемное реле; 2 и 3 — катушки импульсного моторчика; 4 — якорь; 5 и 6 — полюсные наконечники; 7 — вращающаяся щетка; 8 — коллектор; 9 — сопротивление коллектора; 10 — щетка; 11 и 12 — зубчатая передача; 13 — счетчик амперчасов; 14 — дополнительное сопротивление; 15 — указательный прибор.

жении щетки 7 по коллектору 8 изменяет величину сопротивления 9 и изменяет этим скорость вращения якоря амперчасов. Это изменение происходит в направлении уравнивания скорости вращения счетчика амперчасов со скоростью вращения импульсного моторчика. Состояние равновесия создается тогда, когда эти скорости равны и коллектор и щетка двигаются вместе, не перемещаясь один относительно другого.

Ток, протекающий через якорь счетчика амперчасов, замеряется указательным прибором 15. Скорость вращения счетчика амперчасов пропорциональна величине тока, протекающего через его якорь, и в состоянии равновесия равна скорости вращения якоря импульсного моторчика, т. е. пропорциональна числу импульсов, получаемых реле 1. Поэтому отклонения стрелки указательного прибора 15 также пропорциональны числу импульсов и в соответствии с этим пропорциональны телеизмеряемой величине.

Скорость вращения счетчика амперчасов не зависит ни от напряжения вспомогательного тока, ни от внешних сопротивлений в цепи его якоря. Температурные изменения этого сопротивления

или изменения напряжения вспомогательного источника тока автоматически компенсируются соответствующим изменением сопротивления 9.

Однако сила тока в якорь счетчика 13 зависит от изменений температуры. Это объясняется тем, что счетчик амперчасов вследствие особенностей конструктивного выполнения сопротивления 9 должен быть рассчитан на очень небольшой ток и вследствие этого обладает большой температурной погрешностью. При повышении температуры увеличивается сопротивление алюминиевого барабана, на котором

расположены обмотки счетчика, и вследствие этого уменьшается величина вихревых токов, образующихся в этом барабане при вращении его в поле постоянных магнитов. Одновременно уменьшается торможение, даваемое этими токами, вследствие чего для получения той же скорости вращения через якорь счетчика должен проходить меньший ток. Увеличение сопротивления барабана и уменьшение силы тока составляют около 4% на каждые 10° С изменения температуры.

Если указательный прибор 15 включить в цепь якоря счетчика 13, то его показания будут иметь большую температурную погрешность. Для избежания этого прибор 15, как это можно видеть на фиг. 85, включается так, что он измеряет не ток в якоре счетчика, а падение напряжения в нем. Величина этого падения напряжения не зависит от изменений температуры, потому что одновременно с изменением сопротивления алюминиевого барабана изменяется и сопротивление обмотки якоря счетчика. Так как этот якорь имеет обмотку из медной проволоки, то изменение сопротивления ее вместе с изменением сопротивления дополнительного сопротивления 14, выполненного из медной проволоки, будет составлять также около 4% на каждые 10° изменения температуры. Поэтому при увеличении температуры на 10° и уменьшении силы тока в якоре на 4% этот уменьшенный ток будет создавать в увеличившемся на 4% сопротивлении обмотки якоря то же падение напряжения.

Сила тока в цепи счетчика амперчасов составляет в приемнике АЕГ от 8,5 до 26,5 мА. Максимальная частота импульсов при номинальном значении измеряемой величины равна 2,5 импульса в секунду. Сопротивление 9 имеет обычно восемь ступеней, причем по своей величине эти ступени не равномерны, а для больших сил токов являются большими. Это объясняется тем, что при большем числе импульсов, соответствующем большей силе тока, колебание тока в цепи счетчика амперчасов и колебание напряжения, измеряемого указательным прибором 15, при одной и той же величине успокоения стрелки прибора могут быть больше. При малом же числе импульсов эти колебания тока для получения устойчивого положения стрелки указательного прибора должны быть меньше.

Ступени сопротивления 9 выбираются таким образом, чтобы колебания тока составляли не больше $\frac{1}{8}$ величины средней силы тока, соответствующей двум соседним ступеням. Поэтому условия для успокоения стрелки указательного прибора здесь значительно более благоприятны, чем в описанных выше устройствах с образованием средней силы тока при помощи конденсаторов или трансформаторов.

Одним из преимуществ описанного устройства является то, что вследствие превращения импульсов в скорость вращения одновременно с указанием мгновенных величин можно при помощи счетного механизма, соединенного с осью импульсного моторчика, получать отсчет и интегральных величин (например, при телеизмерении мощности одновременно учитывать и количество энергии).

В СССР импульсно-компенсационное устройство телеизмерения разработано в Центральной лаборатории и экспериментальных мастерских Мосэнергo (ЦЛЭМ). Принцип действия этого устройства оди-

наков с описанным выше устройством АЕГ и отличается только тем, что вместо импульсного моторчика применена релейная схема, осуществляющая переключение сопротивлений.

Описанные в настоящей главе импульсно-частотные устройства телеизмерения являются наиболее универсальными в отношении своей применимости и наименее требовательными в отношении линий связи. В условиях энергосистем СССР, где приходится иметь дело с большими расстояниями и вооружение средствами связи еще очень слабо, устройства телеизмерения этого типа получают несомненно большое распространение.

Как можно было видеть из описания этих устройств, большинство из них вполне удовлетворяют современным требованиям в отношении точности и времени установки. Исключение составляют устройства с механическими приемниками, которые не дают непрерывного телеизмерения. Погрешность телепередачи в импульсно-частотных устройствах телеизмерения очень мала, и в некоторых устройствах ею можно пренебречь. Суммарная погрешность определяется поэтому в основном погрешностью измерительного прибора и указателя. В этом отношении применение счетчиков в качестве измерительных приборов является весьма неблагоприятным, так как счетчики сами по себе обладают большой погрешностью. Эта погрешность при специальной регулировке может быть сведена минимум до $\pm 1\%$, по нормам же полная погрешность может составить до $\pm 2\%$. Вместе с тем, для получения импульсов, пропорциональных по своей частоте измеряемой величине, счетчик является наиболее подходящим, позволяя получать эти импульсы наиболее простым способом.

При применении счетчиков для измерения мгновенных величин, как это имеет место в большинстве телеизмерительных устройств, задача получения большой точности облегчается тем, что в этом случае погрешность исчисляется по отношению к номинальному значению измеряемой величины, в то время как при применении счетчиков для измерения интегральных величин указанная выше величина погрешности должна быть выдержана для любого значения измеряемой величины.

Недостатком импульсно-частотных устройств телеизмерения является некоторая трудность осуществления суммирования на передающей стороне. Как уже упоминалось, для этого необходимо или применение специальных суммирующих устройств, дающих измерение суммарной величины при помощи приборов вращающегося типа, или же осуществление суммирования так же, как на приемной стороне, путем установки для каждой из суммируемых величин приемного прибора, суммирования электрических величин, даваемых этими приборами, и дальнейшего телеизмерения суммы. Можно также производить суммирование самих импульсов, не прибегая к преобразованию их в электрические величины. Более подробно об этом будет рассказано в главе о суммировании.

Суммирование на приемной стороне осуществляется путем суммирования токов (Сименс, Вестингауз и ОЛИЗ) или напряжений (АЕГ и Мосэнерго), даваемых приемниками.

В отношении питания на передающем конце импульсно-частотные устройства не предъявляют особых требований. Здесь могут быть применены любые источники тока, лишь бы напряжение их было достаточно для срабатывания реле, включающих линию связи, и для отправки импульсов по линии. При достаточном запасе ампервитков этих реле можно применять источники тока с значительными колебаниями напряжения.

Импульсно-частотные устройства телеизмерения компенсационного типа не предъявляют особых требований к постоянству напряжения и на приемном конце. Устройства с образованием средней силы тока требуют стабилизации напряжения или применения логометров.

Передача нулевого значения измеряемой величины служит в импульсно-частотных устройствах не только для контроля состояния линии связи, но и для получения устойчивого положения стрелки указательного прибора в начале шкалы. Поэтому нулевое значение передается довольно большой частотой импульсов, составляющей обычно от 10 до 20% от максимальной. Для передачи нулевого значения используют в большинстве случаев самоход счетчика.

Для передачи величин переменного направления применяются в основном два метода: переключение направления тока в указательном приборе при изменении направления вращения счетчика передатчика (Брун-Бовери) и способ основной частоты, получаемый от передатчика со стандартным числом оборотов (Вестингауз и Сименс). Последний способ более изящен и более универсален, так как способ переключения применим только в случае передачи постоянным током.

Регистрация в месте приема возможна во всех описанных устройствах без дополнительных приспособлений.

С конструктивной точки зрения импульсно-частотные устройства телеизмерения отличаются друг от друга, главным образом, принципами действия и выполнением приемников. Основными функциями приемников являются:

- 1) точное воспроизведение цены импульсов;
- 2) сглаживание импульсов.

Совершенство принципа действия приемника и его конструкции можно оценивать степенью выполнения им этих основных функций. В отношении оценки конструктивного совершенства играет значение также степень сохранения приемником своих свойств во времени и влияние износа вращающихся частей приемника на точность воспроизведения им телеизмеряемой величины.

Рассмотрим с точки зрения выполнения указанных выше функций описанные типы импульсно-частотных устройств телеизмерения.

1. Точное воспроизведение цены импульса

а) Устройства с конденсатором. Точное воспроизведение цены импульса осуществляется лишь при постоянной величине напряжения источника тока. Если этого нет, то необходимо применять логометры и функция точного воспроизведения импульса выполняется тогда этими приборами.

б) Устройства с трансформатором. Эти устройства не дают точного воспроизведения цены импульса. Величина по-

грешности определяется температурными изменениями сопротивления во вторичной и первичной цепях трансформатора, изменением потерь в его железе и колебаниями напряжения вспомогательного источника тока в первичной цепи трансформатора.

в) Импульсно-компенсационные устройства. Цена импульса точно воспроизводится приемным устройством. Теоретически имеется некоторая погрешность за счет разницы температурных коэффициентов меди и алюминия. Практически эта погрешность ничтожна.

2. Сглаживание импульсов

а) Устройства с конденсаторами. Приемный прибор не дает сглаживания. Эта задача выполняется указательным прибором — инерционным гальванометром или сглаживающими контурами.

б) Устройство с трансформатором. Приемный прибор дает достаточно удовлетворительное сглаживание.

в) Импульсно-компенсационные устройства. Приемный прибор дает хорошее сглаживание. Колебания тока в указательном приборе составляют всего восьмую часть существующего значения тока.

3. Степень сохранения приемником своих свойств

а) В устройствах с образованием средней силы тока приемные конструкции со временем меняют свои свойства. В устройствах с конденсаторами со временем несколько меняется емкость конденсаторов. В указательных приборах вследствие толчкообразной нагрузки пружина со временем изменяет свои свойства (смещается нулевое положение ее) и сильно изнашиваются подпятники. Это особенно относится к указательным приборам баллистического типа, в которых пружина ослаблена по сравнению с весом подвижной системы.

б) В импульсно-компенсационных устройствах изменение свойств пружин и износ осей приемных конструкций не сказывается на правильности показаний, так как скорость вращения осей приемников определяется только частотой импульсов. Износ указательных приборов имеет нормальную величину, поскольку эти приборы имеют сравнительно спокойную нагрузку.

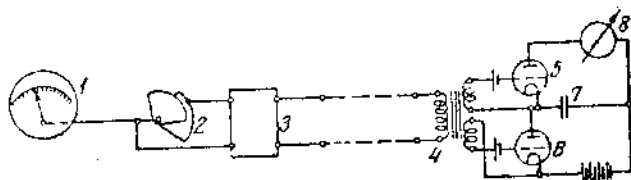
Приведенный выше анализ показывает, что с точки зрения совершенства принципа действия и конструктивного выполнения приемных устройств наиболее совершенными являются импульсно-компенсационные устройства телеизмерения.

21. Частотные устройства телеизмерения

Частотные устройства телеизмерения, в которых передача измеряемой величины производится при помощи изменения частоты переменного тока, не получили широкого распространения. Это объясняется, главным образом, тем, что передача переменным током по линиям связи более затруднительна, чем передача импульсами постоянного тока. Эти затруднения уже охарактеризованы выше при рассмотрении фотоимпульсного устройства ОЛИЗ, которое частично

можно отнести к частотным устройствам телеизмерения, поскольку передача по линиям связи происходит переменным током.

Существуют два типа частотных устройств телеизмерения. В первом из них, изготовляемом фирмой «Питсбург-Эквитейбл Митер» в Америке, стрелка первичного прибора вращает при помощи передачи конденсатор переменной емкости (фиг. 86). Последний включен в цепь колебательного контура электронного генератора и при вращении настраивает этот контур на различную частоту, изменяя ее от 60 до 120 Hz. Полученный переменный ток, пропорциональный по своей частоте значению измеряемой величины, усиливается и направляется в линию связи. На приемном конце этот ток воспринимается катодным частотомером, подобным по своему принципу действия катодному частотомеру фотоимпульсного устройства ОЛИЗ. Лампы 5 и 6 катодного частотомера производят перезарядку конденсатора 7.



Фиг. 86. Принципиальная схема частотного устройства телеизмерения фирмы Питсбург-Эквитейбл Митер.

1 — измерительный прибор; 2 — конденсатор переменной емкости; 3 — генератор с колебательным контуром; 4 — трансформатор катодного частотомера; 5 и 6 — лампы катодного частотомера; 7 — конденсатор; 8 — указательный прибор.

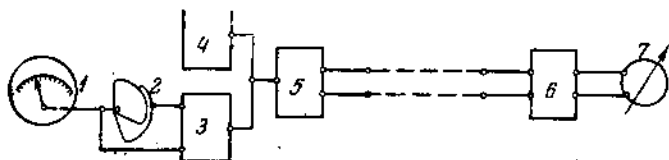
Зарядный ток конденсатора проходит через указательный прибор 8, стрелка которого получает отклонения, пропорциональные частоте перезаряда конденсатора, а в соответствии с этим пропорциональные и частоте переменного тока в линии и значению телеизмеряемой величины.

Питание устройства как на приемной, так и на передающей стороне от переменного тока. Погрешность телеизмерения около 2%. Ввиду того что конденсатор переменной емкости для своей перестановки требует значительного момента, устройство применимо только для передачи неэлектрических величин.

Принципиальная схема другого устройства телеизмерения частотного типа приведена на фиг. 87. В этом устройстве стрелка измерительного прибора также изменяет частоту колебаний электронной лампы, поворачивая конденсатор 2 с переменной емкостью в ее колебательном контуре. На передающей стороне помимо этого имеется вторая электронная лампа, колебательный контур которой имеет конденсатор постоянной емкости. Частота колебания этого контура постоянна и близка к частоте колебаний первого контура. Разность частот обоих контуров (биения) будет пропорциональна показаниям измерительного прибора. Эта разность частот фильтруется и усиливается в третьем контуре и направляется в линию связи. В приемном пункте полученный ток усиливается и измеряется стрелочным частотомером.

Отклонения стрелки этого частотомера пропорциональны частоте биений и в соответствии с этим пропорциональны показаниям измерительного прибора.

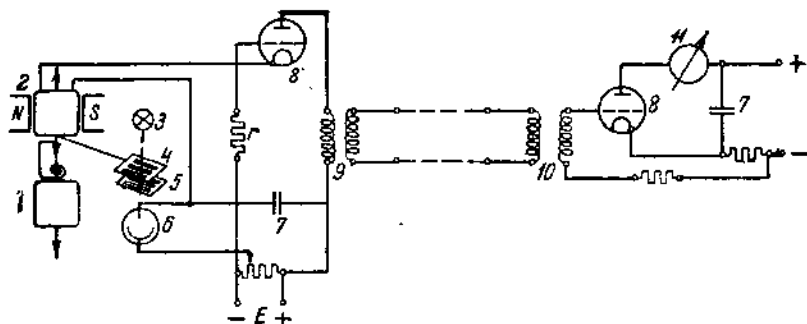
В СССР частотное устройство телеизмерения разработано Научно-исследовательским институтом телемеханики (НИИТ) (фиг. 88). Передатчиком этого устройства служит фото-компенсационное устрой-



Фиг. 87. Принципиальная схема устройства телеизмерения частотного типа с передачей измерений биениями.

1 — измерительный прибор; 2 — конденсатор переменной емкости; 3 — колебательный контур с переменной частотой; 4 — колебательный контур с постоянной частотой; 5 — фильтр биений и усилитель; 6 — усилитель; 7 — стрелочный частотомер.

ство, одинаковое по своей конструкции с описанным выше фото-компенсационным устройством ВЭИ (стр. 86). Момент измерительного прибора уравнивается моментом компенсационного прибора 2, на оси которого сидит рамка 4, изменяющая при своем перемещении освещенность фотоэлемента 6. Фотоэлемент включен последовательно



Фиг. 88. Принципиальная схема фототиратронного устройства телеизмерения НИИТ.

1 — измерительный прибор; 2 — компенсационный прибор; 3 — источник света; 4 — подвижная рамка; 5 — неподвижная рамка; 6 — фотоэлемент; 7 — конденсатор; 8 — тиратрон; 9 и 10 — выходной и входной трансформаторы; 11 — указательный прибор; r — сопротивление.

с конденсатором 7. Параллельно конденсатору включен тиратрон 8, ток в котором нормально заперт отрицательным смещением на сетке, подаваемым через сопротивление r . При включении конденсатора на напряжение он начнет заряжаться через фотоэлемент до тех пор, пока его напряжение не достигнет величины, равной потенциалу зажигания тиратрона. При зажигании тиратрона конденсатор разрядится, и его напряжение упадет до величины, при которой тиратрон опять окажется запертым. После этого конденсатор начнет опять за-

ряжаться, при зажигании тиратрона опять разрядится и т. д. В кон-
туре тиратрона установится при этом режим релаксационных колеба-
ний с частотой

$$f = \frac{1}{CR};$$

эта частота зависит от освещенности фотоэлемента, который в этом
случае играет роль переменного сопротивления.

Среднее значение анодного тока тиратрона

$$i_{cp} = k f C E$$

пропорционально частоте релаксационных колебаний. Этот ток об-
текает рамку компенсирующего прибора 2, уравнивающего мо-
мент измерительного прибора. Благодаря этому освещенность фото-
элемента устанавливается так, чтобы ток в приборе 2, а вместе с тем
и частота релаксационных колебаний были пропорциональны изме-
ряемой величине.

Приемник выполнен по той же схеме.

Передаваемые колебания поступают через входной трансформатор
10 на сетку тиратрона 8, повышая при каждой волне потенциал сетки
и вызывая этим вспышку тиратрона. Тиратрон при этом втягивается
в работу с частотой, равной частоте получаемых импульсов. Средний
анодный ток тиратрона, пропорциональный частоте, измеряется при-
бором 11, который градуируется в единицах измеряемой величины.

Частота релаксационных колебаний изменяется в пределах 150—
200 Hz. Сопротивление линии связи может составлять до 50 000 Ω .

ГЛАВА VII

СУММИРОВАНИЕ

22. Общая характеристика суммирующих устройств и предъявляемые к ним требования

Суммирующие установки должны осуществлять, во-первых, сумми-
рование нагрузок отдельных агрегатов на месте их установки и, во-
вторых, суммирование нагрузок отдельных станций в диспетчерском
пункте.

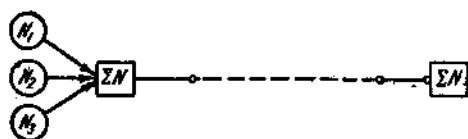
В первом случае отдельные суммируемые величины расположены
территориально в одном месте. Суммирующая установка образует
сумму на месте замера, причем суммируются или величины, даваемые
измерительными приборами, или же величины, даваемые передатчи-
ками телеизмерительных устройств.

Полученная суммарная величина часто передается методами те-
леизмерения в диспетчерский пункт (фиг. 89). Этот способ суммиро-
вания носит название суммирования на передающем конце.

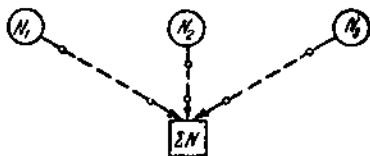
При суммировании в диспетчерском пункте или в каком-либо
другом месте, удаленном от мест замера, суммируемые величины долж-
ны быть переданы посредством телеизмерения в одно центральное
место. Там они попадают в установку, производящую их суммирование

(фиг. 90). В этом случае суммируются величины, даваемые передатчиками, или величины, даваемые приемниками (фиг. 91). Такой способ суммирования носит название суммирования на приемном конце.

Суммирование последнего вида стало возможным только вследствие развития телеизмерительной техники и появилось как результат разработки телеизмерительной аппаратуры. Суммирование же первого вида с точками замера, расположенными в непосредственной близости друг от друга, существовало и до появления телеизмерительных приборов (методы непосредственного суммирования измерений). Появление телеизмерительной аппаратуры позволило при-



Фиг. 89. Схема суммирования на передающем конце.



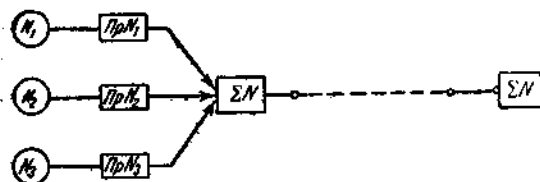
Фиг. 90. Схема суммирования на приемном конце.

менить более совершенные методы, дающие большую точность суммирования, и расширило возможности суммирования (получение наряду с общей суммой частных сумм и индивидуальных указаний, получение разности, переключение суммируемых величин и т. п.).

В ряде случаев, как известно, приемники телеизмерений отсутствуют, так как вид энергии, даваемой передатчиком, может быть

непосредственно направлен в указательный прибор без преобразования. В таких случаях схемы суммирования на передающей стороне от передатчиков и на приемной стороне будут, очевидно, идентичны.

Перейдем теперь к рассмотрению дополнительных требований, предъявляе-



Фиг. 91. Схема суммирования на передающей стороне от приемников.

мых к телеизмерительным установкам условиями суммирования. Эти требования могут быть сформулированы следующим образом:

а) Суммирующая установка должна допускать суммирование любого числа слагаемых при любой величине каждого из слагаемых.

б) Помимо общей суммы установка должна давать возможность получения частных сумм, охватывающих отдельные группы слагаемых. Наряду с образованием общей и частных сумм должна быть сохранена также возможность получения индивидуальных показаний. При образовании частных сумм должна иметься возможность переключать отдельные слагаемые из одной суммы в другую.

в) Сочетание индивидуальных и суммарных показаний не должно давать недопустимых дополнительных погрешностей или искажать

показания первичных измерительных приборов. Также не должно вызывать дополнительных погрешностей и выключение одного из слагаемых.

г) Суммирующая установка должна давать возможность изменения цены величины, при помощи которой производится телеизмерение. Из соображений стандартности телеизмерительной аппаратуры величины, имеющие различные номинальные значения, передаются одинаковой величиной: тока, напряжения, числа импульсов, продолжительности или частоты импульсов. Суммирование же может производиться только при одинаковой цене слагаемых величин.

д) Слагаемые величины должны быть пропорциональны измеряемым величинам. Цена телеизмерительной величины должна быть одинакова в пределах всей шкалы.

е) Суммирующая установка должна давать возможность телепередачи общей или частичных сумм методами телеизмерения в другой пункт.

ж) Помимо образования сумм телеизмеряемых величин суммирующие установки должны давать возможность получения также и разности их.

Принципы действия суммирующих установок определяются характером тех величин, которые им приходится суммировать. Описанные выше телеизмерительные устройства с точки зрения величин, даваемых передатчиками и приемниками, можно разбить на три группы:

- а) дающие напряжение;
- б) дающие ток;
- в) дающие импульсы.

На такие же группы должны, очевидно, разбиваться по своему принципу действия суммирующие установки. К ним нужно только прибавить установки, основанные на непосредственном суммировании измеряемых величин.

Таким образом классификация суммирующих устройств будет выглядеть следующим образом:

1. Непосредственное суммирование.
2. Суммирование напряжений.
3. Суммирование токов.
4. Суммирование импульсов.

23. Непосредственное суммирование

В методах непосредственного суммирования для осуществления суммирования используются или сами величины, подлежащие суммированию, или же величины, даваемые приборами, измеряющими их.

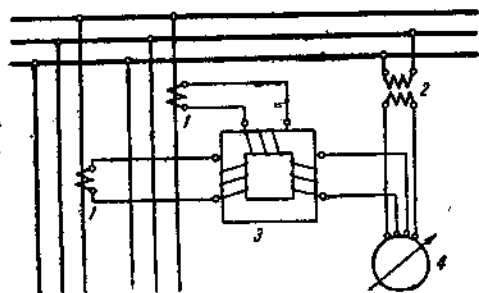
В соответствии с этим методы непосредственного суммирования можно разделить на три группы:

- а) суммирование при помощи трансформаторов тока;
- б) суммирование при помощи сложения моментов;
- в) суммирование при помощи сложения скоростей.

а) **Суммирование при помощи трансформаторов тока.** Метод суммирования при помощи трансформаторов тока заключается в том, что

в токовую цепь прибора, измеряющего нагрузку (ваттметра, счетчика), направляется сумма токов отдельных слагаемых. Это осуществляется путем параллельного соединения вторичных обмоток трансформатора тока или путем предварительного получения суммарного тока от специального промежуточного трансформатора (фиг. 92). Напряжение к суммирующему прибору подводится общее от трансформатора напряжения, присоединенного к общим шинам установки.

Способ суммирования при помощи трансформаторов тока имеет целый ряд ограничений. Суммирование может производиться, как это можно видеть из самой схемы суммирования, только для синхронно



Фиг. 92. Схема суммирования при помощи трансформаторов тока.

1 — трансформатор тока; 2 — трансформатор напряжения; 3 — суммирующий трансформатор; 4 — суммирующий ваттметр.

работающих агрегатов. Поскольку к суммирующему прибору подводится общее напряжение, суммирование может производиться только в том случае, когда параллельная работа агрегатов происходит непосредственно через шины, без промежуточного включения каких-либо сопротивлений или индуктивностей. В противном случае суммирование будет осуществляться с погрешностями.

При отключении какого-либо из слагаемых трансфор-

маторы тока других слагаемых должны будут покрывать потери в трансформаторе тока отключенного слагаемого. Это также вызывает дополнительные погрешности. При осуществлении установки должна соблюдаться особая осторожность в коммутации вторичных цепей трансформаторов тока, размыкание которых может вызвать появление опасных потенциалов на суммирующем трансформаторе.

Нужно указать, что соединение вторичных цепей всех трансформаторов тока в одном аппарате является, вообще говоря, весьма нежелательным, так как повреждение этого аппарата, например, пожар изоляции в нем вследствие пробоя, выводит из строя все трансформаторы тока, что может привести к весьма тяжелым последствиям. Этот недостаток свойственен не только суммированию при помощи трансформаторов тока, но и всем остальным способам непосредственного суммирования измеряемых величин.

б) Суммирование путем сложения моментов. Суммирование нагрузки агрегатов, работающих несинхронно друг с другом, возможно только в тех случаях, когда для суммирования используются величины, образующие алгебраическую, а не геометрическую сумму. В качестве таких величин могут быть, например, использованы моменты, даваемые приборами, измеряющими нагрузку отдельных слагаемых. Такой вид суммирования применяется уже давно для измерения трехфазной нагрузки в ваттметрах и счетчиках (по схеме Арона). В этих приборах вращающие моменты, образуемые измерительными

системами, измеряющими нагрузку отдельных фаз, передаются на общую ось. Момент на последней получается при этом равным сумме моментов отдельных измерительных систем. Принципиально этот метод суммирования применим и для большого числа слагаемых. Пределы здесь ставятся только чисто конструктивными соображениями, так как нагромождение на одной оси большого числа измерительных систем сильно увеличивает размеры прибора и его подвижной системы и вносит добавочное трение, увеличивая этим погрешность прибора.

Одним из приборов этого типа является суммирующий ваттметр фирмы Вестингауз на девять слагаемых с телеизмерительной установкой компенсационного типа (см. стр. 77). Измерение мощности производится при помощи элементов Кельвина, все подвижные части которых механически соединены вместе. Суммарный момент, даваемый этими элементами, уравнивается или пружиной, приводимой в действие вспомогательным моторчиком, или же при телеизмерении суммарной величины моментом, создаваемым катушкой магнитоэлектрического прибора, через которую протекает телеизмерительный ток.

Другим примером может служить изображенный на фиг. 93 суммирующий прибор ОЛИЗ на шесть слагаемых с суммированием моментов на валу счетчика. Нагрузка каждого из агрегатов измеряется системой счетчика. Диски всех счетчиков посажены на общую ось, скорость вращения которой получается пропорциональной сумме моментов, даваемых измерительными системами отдельных счетчиков.

Основной недостаток суммирования моментов заключается в том, что при выключении отдельных слагаемых моменты трения измерительных систем этих слагаемых раскладываются на оставшиеся в работе измерительные системы, что вносит дополнительные погрешности.

В суммирующих устройствах со счетчиками это усугубляется еще тем, что при выключении отдельных слагаемых исчезает момент торможения, создаваемый катушками напряжения включенной измерительной системы. Это обстоятельство заставляет применять специальные блокирующие цепи от масляных выключателей генераторов, при помощи которых катушки напряжения выключенной из работы системы получают напряжение от вспомогательного источника тока. Это мероприятие, однако, значительно усложняет сооружение установки. Поэтому в других суммирующих устройствах с суммированием моментов на валу счетчиков последние используются как индукционные приборы, причем суммарный момент уравнивается пружиной



Фиг. 93. Установка ОЛИЗ для суммирования моментов на валу счетчика.

(установка фирмы Джeneralь Электрик К^о с передатчиками типа Сельсин).

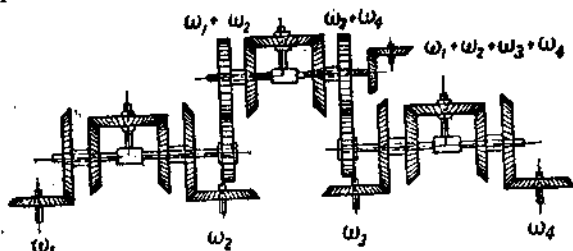
в) Суммирование скоростей. Непосредственное суммирование можно производить и путем сложения скоростей вращения осей счетчиков, измеряющих нагрузку отдельных агрегатов. Это сложение производится при помощи дифференциальных механизмов (фиг. 94).

Как известно, скорость вращения главной оси дифференциального механизма равна средней величине скоростей вращения двух боковых колес его:

$$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}.$$

Как можно видеть из этого уравнения, скорость вращения главной оси получается пропорциональной сумме скоростей вращения боковых колес.

Если боковые колеса приводить в движение от осей двух счетчиков, то главная ось дифференциального механизма будет вращаться со скоростью, пропорциональной сумме скоростей вращения осей счетчиков и в соответствии с этим сумме мощностей, измеряемых этими счетчиками. Для получения суммы большего числа слагаемых прибегают к последовательному сложению скоростей вращения, включая дифференциальные механизмы в виде «пирамиды», как это показано на фиг. 94.



Фиг. 94. Суммирование посредством сложения скоростей.

Недостатком суммирования скоростей является необходимость механического соединения осей счетчиков друг с другом и большая сложность установки в целом. Колеса дифференциальных механизмов, соединенные с осями счетчиков, увеличивают их нагрузку и погрешности от трения. Механическая связь осей счетчиков друг с другом вызывает их взаимодействие, что также увеличивает погрешности. Поэтому способ суммирования скоростей не получил распространения и применяется только в тех случаях, когда от осей, скорости которых суммируются, можно получить большие моменты.

Описанными способами непосредственного суммирования значительная часть требований, приведенных на стр. 145, не выполняется.

Число суммируемых величин ограничено конструктивными размерами суммирующих установок. Получение частичных сумм и индивидуальных указаний возможно только при суммировании с помощью трансформаторов тока. В остальных методах получение этих величин одновременно с общей суммой сложно.

Отдельные слагаемые при суммировании взаимодействуют друг с другом и выключение одного из слагаемых в большинстве случаев дает дополнительные погрешности.

Изменение цены измеряемой величины возможно только при суммировании с трансформаторами тока и суммировании скоростей. В первом способе это осуществляется путем подбора витков обмоток промежуточного трансформатора, а во втором соответствующим подбором передач от осей счетчиков к дифференциальным механизмам. В установках с суммированием моментов возможности изменения цены измеряемой величины нет, и в этих установках измерительные приборы должны выполняться индивидуально в зависимости от номинального значения измеряемой величины.

Дальнейшее телеизмерение суммарной величины и получение разностей возможно.

Эти ограничения при применении методов непосредственного суммирования являются характерными и указывают на то, что для достаточно полного решения проблемы суммирования обычные методы измерения становятся уже мало пригодными.

Как будет показано ниже, применение для суммирования телеизмерительных методов дает значительно более простые решения, удовлетворяющие вместе с этим и большинству поставленных выше требований.

24. Суммирование напряжений

Методы суммирования напряжений применяются во всех тех случаях, когда телеизмерительные передатчики или приемники дают при передаче или приеме телеизмерений напряжение постоянного тока или напряжение переменного тока с одинаковым сдвигом фаз для всех сла-

гаемых. К этому виду телеизмерительных устройств принадлежат: все умформерные устройства, потенциометрические, компенсационные, работающие по нулевым методам, за исключением использующих моторчик «Сельсин», и импульсно-компенсационные.

Суммирование напряжений осуществляется путем последовательного включения элементов приемников (или передатчиков), дающих напряжение, и общего указательного прибора (фиг. 95). Если напряжения, даваемые отдельными передатчиками или приемниками, прямо пропорциональны телеизмеряемым нагрузкам:

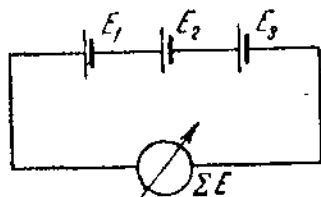
$$E_1 = a_1 N_1; E_2 = a_2 N_2 \text{ и } E_3 = a_3 N_3,$$

то суммарное напряжение

$$\Sigma E = a_1 N_1 + a_2 N_2 + a_3 N_3.$$

Очевидно, что это напряжение будет пропорционально суммарной мощности $N_1 + N_2 + N_3$ только в случае, если

$$a_1 = a_2 = a_3.$$



Фиг. 95. Суммирование путем сложения напряжений.

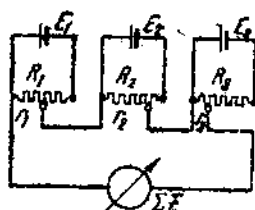
Это соотношение является выражением требования равенства «цены» суммируемых величин.

Если цена телеизмеряемых величин неодинакова, то прибегают к включению, изображенному на схеме фиг. 96. В этом случае напряжения, получаемые от отдельных слагаемых, отбираются в суммирующую цепь не полностью, а только частично:

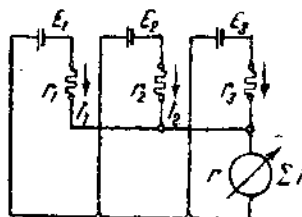
$$\Sigma E = \beta_1 E_1 + \beta_2 E_2 + \beta_3 E_3,$$

где:

$$\beta_1 = \frac{r_1}{R_1}; \beta_2 = \frac{r_2}{R_2} \text{ и } \beta_3 = \frac{r_3}{R_3}.$$



Фиг. 96. Суммирование путем сложения напряжений в случае неодинаковой цены телеизмеряемых величин.



Фиг. 97. Суммирование при помощи получения токов, пропорциональных напряжениям.

Если попрежнему

$$E_1 = a_1 N_1; E_2 = a_2 N_2 \text{ и } E_3 = a_3 N_3,$$

то

$$\Sigma E = a_1 \beta_1 N_1 + a_2 \beta_2 N_2 + a_3 \beta_3 N_3.$$

Условие пропорциональности суммарного напряжения E сумме мощностей

$$a_1 \beta_1 = a_2 \beta_2 = a_3 \beta_3.$$

Таким же образом производится и вычитание. Разница состоит только в том, что напряжение вычитаемой величины включается в этом случае в обратном направлении.

Суммирование можно производить также по схеме, изображенной на фиг. 97, где суммируются не напряжения, а токи, пропорциональные напряжениям. Ток, протекающий через прибор, будет равен сумме токов, даваемых отдельными слагаемыми:

$$\Sigma i = i_1 + i_2 + i_3.$$

Слагаемые токи определяются из уравнений Кирхгофа:

$$E_1 = i_1 r_1 + (i_1 + i_2 + i_3) r;$$

$$E_2 = i_2 r_2 + (i_1 + i_2 + i_3) r$$

и

$$E_3 = i_3 r_3 + (i_1 + i_2 + i_3) r.$$

Преобразуя эти уравнения и решая их совместно с написанным выше выражением для суммы токов, получим

$$\Sigma i = \beta_1 E_1 + \beta_2 E_2 + \beta_3 E_3,$$

где

$$\beta_1 = \frac{r_2 r_3}{r_1 r_2 r_3 + r (r_2 r_3 + r_1 r_3 + r_1 r_2)};$$

$$\beta_2 = \frac{r_1 r_3}{r_1 r_2 r_3 + r (r_2 r_3 + r_1 r_3 + r_1 r_2)}$$

и

$$\beta_3 = \frac{r_1 r_2}{r_1 r_2 r_3 + r (r_2 r_3 + r_1 r_3 + r_1 r_2)}.$$

Если попрежнему

$$E_1 = \alpha_1 N_1; \quad E_2 = \alpha_2 N_2 \text{ и } E_3 = \alpha_3 N_3,$$

то

$$\Sigma i = \alpha_1 \beta_1 N_1 + \alpha_2 \beta_2 N_2 + \alpha_3 \beta_3 N_3.$$

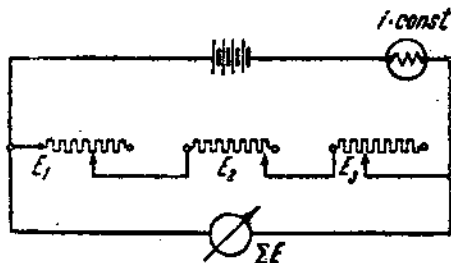
Условия одинаковой цены делений

$$\alpha_1 \beta_1 = \alpha_2 \beta_2 = \alpha_3 \beta_3.$$

В потенциометрических устройствах телеизмерение напряжения отдельных слагаемых получается от потенциометров. При последовательном соединении потенциометров и питании их от одного источника тока изменение какой-либо одной величины будет вызывать изменение сопротивления и силы тока во всей последовательно соединенной цепи потенциометров. Поэтому для суммирования при последовательном соединении потенциометров необходимо питать каждый потенциометр от отдельного источника тока или же стабилизировать ток в цепи потенциометров, включая, например, как это показано на фиг. 98, последовательно с ними железо-водородное сопротивление. В потенциометрических устройствах телеизмерения выгоднее применять включение по схеме фиг. 98, при которой питание всех потенциометров можно производить от одного источника напряжения.

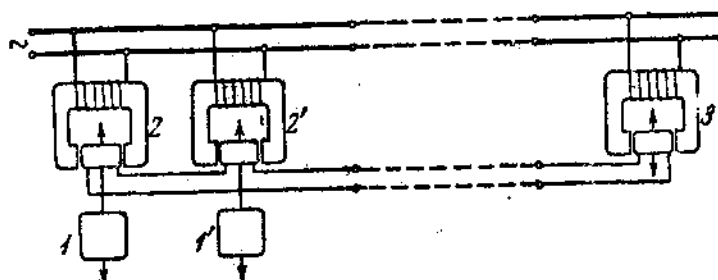
В нулевых методах телеизмерения суммирование производится посредством последовательного соединения передатчиков. Приемному прибору приходится в этом случае уравнивать суммарное напряжение передатчиков, и его показания получают пропорциональными сумме измеряемых величин. На фиг. 99 показано такое включение для индукционных телеизмерительных устройств фирмы Трюб и Тейбер и ОЛИЗ.

Суммирование по методу сложения напряжений удовлетворяет значительной части из поставленных выше требований.



Фиг. 98. Включение потенциометров при суммировании.

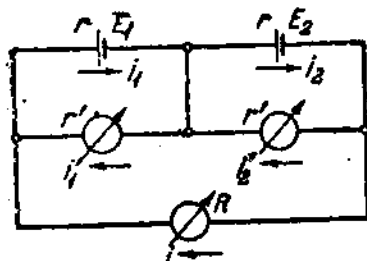
Количество слагаемых ничем не ограничено, и их величина может быть произвольно большой. Изменение цены телеизмеряемой величины при различных ее номинальных значениях осуществляется просто. Получение частичных сумм и индивидуальных указаний одно-



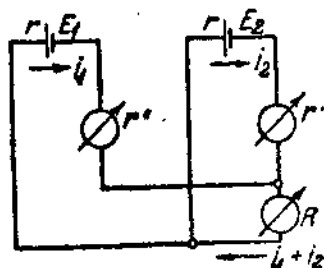
Фиг. 99. Схема суммирования в индукционных устройствах телеизмерения.

1 и 1' — измерительные приборы; 2 и 2' — передатчики; 3 — приемник.

временно с общей суммой также несложно. Для этого помимо прибора, измеряющего суммарное напряжение или суммарную силу тока, нужно включить еще приборы, измеряющие напряжения, даваемые отдельными передатчиками или группами передатчиков (фиг. 100 и 101).



Фиг. 100. Схема суммирования с одновременными индивидуальными указаниями.



Фиг. 101. Схема суммирования при помощи сложения токов, пропорциональных напряжениям с одновременными индивидуальными указаниями.

Однако требование отсутствия взаимной зависимости между индивидуальными показаниями и показаниями общей или частичной сумм в данном случае не выполняется: индивидуальные показания и показания частичных сумм получаются с некоторой погрешностью.

Рассмотрим имеющие в этом случае место соотношения несколько подробнее. Схема последовательного соединения напряжений с индивидуальными указаниями приведена на фиг. 100. В этой схеме ради простоты изображены цепи только двух слагаемых и, кроме того, принято, что цена телеизмеряемой величины у обоих слагаемых одинакова.

Предположим, что первое слагаемое равно нулю, т. е. $E_1 \approx 0$. Ток i'_1 , протекающий через индивидуальный указательный прибор, и показания этого прибора должны быть при этом равны нулю. Однако в действительности показания этого прибора не будут равны нулю, так как через него, как видно из схемы, будет протекать ток от слагаемого E_2 . Этот ток будет, очевидно, иметь место и при наличии напряжения E_1 и будет несколько искажать показания индивидуального прибора, измеряющего это напряжение.

Таким образом показания каждого из индивидуальных приборов будут зависеть не только от собственного напряжения, но и от напряжений, даваемых другими слагаемыми. В случае наличия двух слагаемых, как это изображено на фиг. 100,

$$i'_1 = \alpha E_1 - \beta E_2$$

и

$$i'_2 = \alpha E_2 - \beta E_1,$$

где β — коэффициент, определяющий величину влияния соседних слагаемых и дополнительную погрешность, вносимую ими в показания индивидуальных приборов.

Величина β легко определяется, если составить уравнения Кирхгофа для токов и напряжений, изображенных на фиг. 100, и решить их в отношении токов в одном из индивидуальных приборов. Величина β будет равна

$$\beta = \frac{1}{R \frac{(r+r')^2}{r'r} + 2(r+r')}.$$

Как можно видеть из этого выражения, дополнительная погрешность, вносимая в показания индивидуальных приборов, будет тем меньше, чем больше сопротивление R в общей цепи и чем меньше сопротивление r в цепи телеизмерения (внутреннее сопротивление передатчика и сопротивление соединительных линий). Величина дополнительной погрешности будет равна нулю в двух случаях: или в случае, если сопротивление R внешней цепи будет равно бесконечности, или в случае, если сопротивление r цепи телеизмерения будет равно нулю. Так как ни одно из этих условий практически не может иметь места, то показания индивидуальных частичных сумм при данном методе суммирования всегда сопряжены с погрешностями.

То же самое будет иметь место и в случае суммирования по схеме фиг. 97 при помощи сложения токов, пропорциональных напряжениям. Схема суммирования с индивидуальными показаниями изображена для этого случая на фиг. 101.

Показания индивидуальных приборов зависят здесь также не только от измеряемых ими напряжений, но и от напряжений, даваемых другими слагаемыми:

$$i'_1 = \alpha E_1 - \beta E_2$$

и

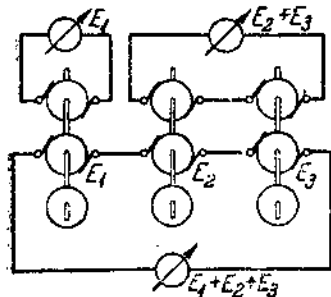
$$i'_2 = \alpha E_2 - \beta E_1.$$

Величина β здесь равна

$$\beta = \frac{1}{\frac{(r+r')^2}{R} + 2(r+r')}$$

Как можно видеть из этого выражения, дополнительная погрешность будет равна нулю в двух случаях: при $R = 0$ и $(r+r') = \infty$. Так как ни один из этих случаев не может иметь места, то и при данной схеме индивидуальные показания будут происходить с некоторой погрешностью.

В генераторных устройствах телеизмерения, где внутреннее сопротивление передатчиков обычно бывает значительным, прибегают к разделному образованию общей суммы и частных сумм или индивидуальных показаний, насаживая на ось счетчика два отдельных генератора и образуя от одного из них общую сумму, а от другого — частичные суммы или индивидуальные показания. Схема такого суммирования показана на фиг. 102.



Фиг. 102. Образование частных сумм и общей суммы при помощи двухгенераторных передатчиков.

Нужно упомянуть еще об одной погрешности, имеющей место при суммировании напряжений. Эта погрешность связана с выключением отдельных слагаемых в тех случаях, когда имеет место передача нулевого значения суммируемых величин. В этом случае нуль шкалы указательного прибора суммы соответствует напряжению

$$E_0 = \Delta E n,$$

где ΔE — напряжение, которым передается нулевое значение каждого из слагаемых;

n — число слагаемых.

Если одно из слагаемых выключается, то суммарное напряжение, соответствующее нулю шкалы, будет равно

$$E_0 = \Delta E (n - 1),$$

и нуль шкалы суммарного прибора сдвигается. Для избежания дополнительной погрешности при выключении одного из слагаемых необходимо вместо него включать в суммирующую цепь постоянное напряжение, равное ΔE , от постороннего источника тока.

Перейдем теперь к рассмотрению способов дальнейшего телеизмерения полученной суммарной величины.

Возможность дальнейшего телеизмерения определяется в основном количеством энергии, даваемым суммирующей установкой. Обычно передатчики телеизмерительных приборов требуют большего количества энергии, чем нормальные измерительные приборы. Особенно большое потребление имеют приборы вращающиеся приборы, часто применяемые в качестве передатчиков.

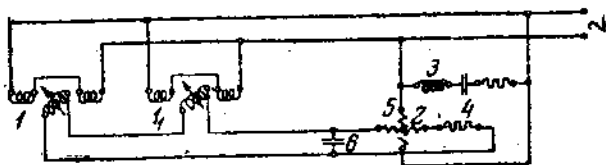
В устройствах телеизмерения, использующих в качестве передатчиков стрелочные приборы (компенсационные устройства, время-импульсные устройства, число-импульсные устройства и т. п.), особых трудностей в дальнейшей передаче суммы не встречается, за исключением тех случаев, когда необходимы приборы с большим потреблением.

Некоторые затруднения с дальнейшим телеизмерением суммарной величины имеют место в тех случаях, когда это телеизмерение осуществляется при помощи импульсно-частотных методов. В большинстве из этих методов передатчиками служат вращающиеся приборы. Когда суммирующая установка имеет зависимость от напряжения вспомогательных источников тока, приходится применять специальные приборы, не чувствительные к этой зависимости. Для этого применяют счетчики, в которых тормозящий момент создается не постоянными магнитами, а электромагнитами с обмоткой, питаемой от источника питания суммирующей установки.

У этих счетчиков в случае, например, понижения питающего напряжения одновременно с уменьшением напряжения или тока в обмотках счетчика уменьшается и величина торможения, благодаря чему скорость вращения счетчика остается постоянной.

Схема включения такого счетчика стабильной скорости в суммирующих установках ОЛИЗ изображена на фиг. 103.

Суммирование осуществляется здесь при помощи индукционных передатчиков, обмотки которых включаются последовательно друг с другом. Счетчик стабильной скорости представляет собой обычный индукционный счетчик, последовательная обмотка которого 2 сделана из тонкой проволоки, а постоянный магнит, создающий торможение, заменен электромагнитом 3. К последовательной обмотке счетчика через сопротивление 4 подводится суммарное напряжение от рамок индукционных передатчиков. К параллельной обмотке счетчика 5 подводится напряжение от сети, питающей намагничивающую обмотку индукционных передатчиков. На то же напряжение включается и обмотка тормозного электромагнита 3. Конденсатор 6 служит для уменьшения обратного воздействия тока, протекающего по обмоткам индукционных передатчиков, на первичные измерительные приборы. По исследованиям, произведенным в ОЛИЗ¹, величина противодействующего момента, образующегося вследствие взаимодействия тока, протекающего в рамке индукционного передатчика, с полем, создаваемым



Фиг. 103. Схема включения суммирующей установки ОЛИЗ со счетчиком стабильной скорости.

1 — 1₁ — индукционные передатчики; 2 — последовательная обмотка счетчика; 3 — тормозной электромагнит; 4 — дополнительное сопротивление; 5 — параллельная обмотка счетчика; 6 — конденсатор.

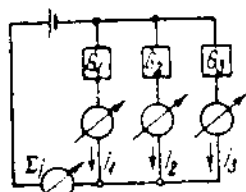
¹ См. Арутюнов, „Новая телеизмерительная аппаратура“, Изв. Электропром. слабого тока № 4 за 1935 г.

намагничивающими обмотками его, пропорциональна величине реактивного сопротивления в цепи рамки. Величина конденсатора δ подбирается так, чтобы цепь счетчика стабильной скорости была для индукционных передатчиков чисто омической нагрузкой. Тогда реактивное сопротивление этой цепи будет равно нулю и рамка индукционного передатчика не будет создавать никакого противодействующего момента.

Следует указать, что получить счетчик стабильной скорости с идеально постоянной скоростью не удастся. Эти счетчики имеют также некоторую температурную погрешность и обладают большой инерцией. Поэтому применение счетчиков в качестве передатчиков суммы вносит дополнительные погрешности в телеизмерение суммы и увеличивает время установки всего телеизмерительного устройства.

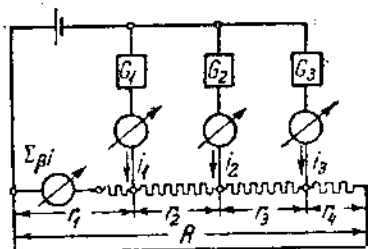
25. Суммирование токов

Способ суммирования при помощи сложения токов применяется в тех устройствах телеизмерения, где передатчики или приемники дают ток, пропорциональный измеряемой величине. К этим устройствам принадлежат все компенсационные, за исключением работающих



Фиг. 104. Суммирование при помощи сложения токов.

G_1 , G_2 и G_3 — передатчики компенсационных устройств телеизмерения.



Фиг. 105. Суммирование при помощи сложения токов при неодинаковой цене телеизмеряемых величин.

щих по нулевому методу, а также импульсно-частотные и время-импульсные устройства с приемниками, образующими среднюю силу тока.

Схема включения суммирующей установки со сложением токов изображена на фиг. 104. Измерительный прибор, указывающий сумму, включен таким образом, что через него проходит сумма токов, даваемых отдельными слагаемыми. На фиг. 104 изображена схема для суммирования величин с одинаковой ценой:

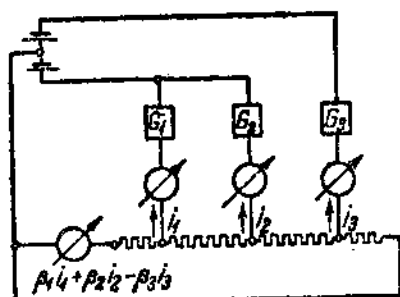
$$i_1 = a_1 N_1; \quad i_2 = a_2 N_2 \quad \text{и} \quad i_3 = a_3 N_3.$$

$$\Sigma i = a_1 N_1 + a_2 N_2 + a_3 N_3.$$

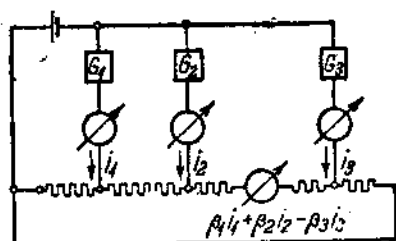
Как и в случае сложения напряжений для получения правильной суммы необходимо, чтобы

$$a_1 = a_2 = a_3.$$

Схема суммирования путем сложения токов при неодинаковой цене измеряемых величин приведена на фиг. 105. Изменение цены измеряемой величины достигается тем, что в прибор, указывающий суммарную величину, попадает только часть токов, другая же часть проходит через делитель тока помимо этого прибора.



Фиг. 106. Суммирование и вычитание по трехпроводной схеме.



Фиг. 107. Суммирование и вычитание по схеме двойного делителя тока.

$$\Sigma I = \beta_1 i_1 + \beta_2 i_2 + \beta_3 i_3,$$

где

$$\beta_1 = \frac{r_2 + r_3 + r_4}{R}; \quad \beta_2 = \frac{r_3 + r_4}{R} \text{ и } \beta_3 = \frac{r_4}{R}.$$

Если попрежнему

$$i_1 = a_1 N_1; \quad i_2 = a_2 N_2 \text{ и } i_3 = a_3 N_3,$$

то

$$\Sigma I = a_1 \beta_1 N_1 + a_2 \beta_2 N_2 + a_3 \beta_3 N_3.$$

Для получения правильной суммы необходимо чтобы

$$a_1 \beta_1 = a_2 \beta_2 = a_3 \beta_3.$$

Для получения разности применяют включение по трехпроводной схеме (фиг. 106) или же схеме с двойным делителем тока (фиг. 107); обе схемы достаточно просты и не требуют пояснений.

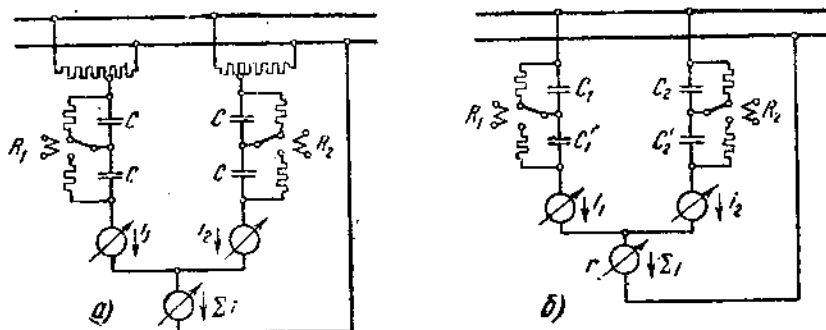
Включение суммирующего прибора в импульсно-частотных устройствах телеизмерения с приемными конденсаторами показано на фиг. 108. Через прибор суммы проходит суммарный зарядный ток отдельных конденсаторов. Изменение цены телеизмеряемой величины достигается путем включения конденсаторов на различные напряжения (фиг. 108, а) или посредством применения конденсаторов различной емкости (фиг. 108, б).

Таким же образом осуществляется суммирование и в импульсно-частотных устройствах с приемными трансформаторами и в время-импульсных устройствах с электрическими приемниками.

В компенсационных устройствах телеизмерения, дающих непрерывный ток, получение общей суммы, частных сумм и индивидуальных указаний происходит без дополнительных погрешностей¹.

¹ В этом случае можно принять $(r + r') = \infty$ (см. стр. 154).

В импульсно-частотных и время-импульсных устройствах с электрическими приемниками и образованием средней силы тока получение общей суммы и частичных сумм сопряжено с некоторыми дополнительными погрешностями. Источник этой погрешности заключается в том, что импульсы тока, даваемые отдельными слагаемыми, могут поступать в прибор суммы как одновременно, так и разновременно. В устройствах с конденсаторами при разновременной зарядке конденсаторов возможно участие энергии разряда одного конденсатора в зарядке другого. Это явление заключается в том, что полностью заряженный конденсатор (например, конденсатор C_1 на фиг. 108, б) при переключении контакта реле R в соседней цепи дает часть своей энергии на заряд включившегося разряженного конденсатора C_2 одно-



Фиг. 108. Суммирование в устройствах телеизмерения с образованием средней силы тока при помощи конденсаторов.

а — изменение цены измеряемой величины при помощи разных напряжений; б — изменение цены измеряемой величины при помощи конденсаторов разной емкости.

временно с питанием последнего от источника тока. Поскольку эти уравнивательные токи между конденсаторами не проходят через прибор суммы, то это ведет к погрешности суммирования. Величина уравнивательных токов и вызываемой ими дополнительной погрешности зависит от величины сопротивления r в цепи прибора суммы. Если $r = 0$, то уравнивательные токи также равны нулю, так как общая точка конденсаторов будет при этом всегда иметь потенциал минуса источника тока. При $r = \infty$ ток будет циркулировать только между конденсаторами. По указаниям фирмы Сименс при надлежащем подборе сопротивления величину дополнительной погрешности от уравнивательных токов удается сохранить в пределах $\pm 0,2\%$ ¹.

Следует указать, что по исследованиям фирмы Сименс величина дополнительной погрешности при суммировании токов конденсаторов зависит также и от частоты импульсов, увеличиваясь с ее возрастанием. Поэтому и с этой точки зрения увеличение числа импульсов в импульсно-частотных устройствах телеизмерения невыгодно.

¹ См. Pflieger, „Summierung bei Impulsfrequenz Fernmessung“, Siemens Zeitschrift, № 9 за 1935 г. и «Энергетическое обозрение» (электротехнический выпуск) № 12 за 1935 г.

В время-импульсных устройствах телеизмерения с электрическими приемниками образование общей суммы происходит также с определенной погрешностью, вызываемой разновременным получением импульсов в цепях различных слагаемых. Происхождение этой погрешности можно видеть из схемы фиг. 109.

Если включение сопротивлений в цепях отдельных слагаемых происходит таким образом, что в каждый момент времени включено только одно слагаемое, то амплитудные значения тока в цепи прибора, указывающего сумму, будут равны

$$i_1 = \frac{E}{r+r_1}; \quad i_2 = \frac{E}{r+r_2} \quad \text{и} \quad i_3 = \frac{E}{r+r_3}.$$

При одновременном включении слагаемых амплитудная величина тока в приборе, указывающем сумму, будет равна

$$i = E \frac{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}}{1 + \frac{r}{r_1} + \frac{r}{r_2} + \frac{r}{r_3}}.$$

Для упрощения выводов предположим, что сопротивления в цепи отдельных слагаемых равны друг другу $r_1 = r_2 = r_3$ и продолжительность импульсов также одинакова: $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$. Обозначив

$$\frac{r}{r_1} = \frac{r}{r_2} = \frac{r}{r_3} = \gamma \quad \text{и} \quad \frac{\tau_1}{T} = \frac{\tau_2}{T} = \frac{\tau_3}{T} = \varrho,$$

где T — продолжительность интервала, получим, что средняя сила тока в приборе, указывающем сумму, будет равна:

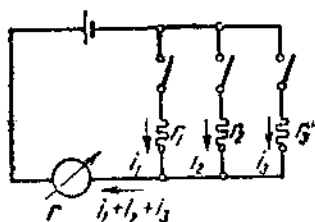
а) в случае разновременного поступления импульсов

$$\sum i = \varrho E \left(\frac{1}{r+r_1} + \frac{1}{r+r_2} + \frac{1}{r+r_3} \right) = \varrho \frac{3E}{r} \cdot \frac{\gamma}{1+\gamma};$$

б) в случае одновременного поступления импульсов

$$\sum i = \varrho E \frac{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}}{1 + \frac{r}{r_1} + \frac{r}{r_2} + \frac{r}{r_3}} = \varrho \frac{3E}{r} \frac{\gamma}{1+3\gamma}.$$

Во втором случае сила тока будет меньше, чем в первом, в отношении $\frac{1+\gamma}{1+3\gamma}$. Силы токов в том и другом случае будут равны только при $\gamma = 0$, т. е. в случае $r = 0$, что практически недостижимо. Поэтому образование суммы связано в рассматриваемом случае с дополнительной погрешностью, которая получается тем большей, чем больше сопротивление прибора суммы по сравнению с сопротивлениями цепей отдельных слагаемых.

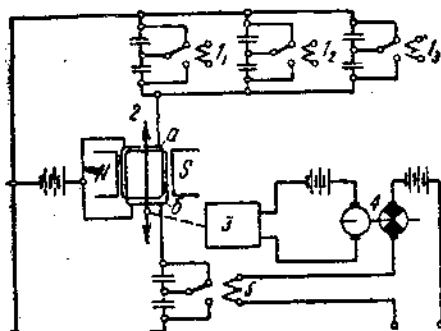


Фиг. 109. Суммирование токов во время-импульсных устройствах телеизмерения с электрическими приемниками.

Способ суммирования при помощи сложения токов, так же как и способ суммирования напряжений, удовлетворяет большинству из поставленных выше условий.

Число и величина слагаемых могут быть сколь угодно велики. Изменение цены телеизмеряемых величин осуществляется весьма просто. Также просто образование частичных сумм и индивидуальных показаний. В телеизмерительных устройствах компенсационного типа, дающих непрерывный ток, образование общей суммы, частичных сумм и индивидуальных показаний происходит с абсолютной точностью. В импульсно-частотных устройствах образование общей и частичных сумм связано с некоторой погрешностью.

Дальнейшее телеизмерение суммы также не представляет трудностей. Условия для этого в случае суммирования токов несколько благоприятней, чем при суммировании напряжений, так как мощность, которую можно получить от отдельных слагаемых, здесь больше.



Фиг. 110. Телеизмерение суммы в импульсно-частотном устройстве телеизмерения фирмы Сименс.

$\mathcal{E}_1$, $\mathcal{E}_2$ и $\mathcal{E}_3$ — приемники; 2 — сравнивающий прибор; 3 — регулятор; 4 — передатчик импульсов; 5 — компенсационный приемник.

При импульсно-частотном телеизмерении суммы, если суммирование произведено методами, зависимыми от напряжения (с образованием средней силы тока), приходится применять счетчики стабильной скорости. Указанные выше недостатки применения счетчиков в качестве передатчиков суммы (дополнительная погрешность и увеличение времени установок) заставили фирму Сименс разработать для своего импульсно-частотного устройства телеизмерения специальную схему передачи суммы, в основу которой был положен компенсационный метод¹. Эта схема изображена на фиг. 110.

Для образования суммы на передающем конце применяется метод суммирования при помощи приемников. Суммарный ток, даваемый конденсаторами приемников, направляется в катушку *a* сравнивающего прибора 2. Последний представляет собой безмоментный измерительный прибор с вращающейся катушкой, обмотка которого разделена на две половины: *a* и *b*. Прибор 2 воздействует на регулирующее устройство 3 электрического типа, которое в зависимости от положения оси прибора регулирует силу тока в передатчике импульсов 4. Последний дает импульсы в линию связи и одновременно в компенсационный приемник 5. Ток от конденсаторов этого приемника проходит через катушку *b* прибора 2 и уравнивает момент, даваемый катушкой *a* этого прибора. Если токи в катушках *a* и *b* прибора 2

¹ См. Brandenburger, Ein neuer Fernmess-Summengeber, Siem. Zeitschr., № 11, 1935.

равны друг другу, то ось прибора находится в положении покоя. Передатчик импульсов 4 будет при этом давать в линию и в компенсационный приемник 5 импульсы, число которых пропорционально токам, протекающим через катушки a и b прибора 2, и соответственно этому пропорционально суммарному току, даваемому передатчиками 1_1 , 1_2 и 1_3 . При изменении этого тока равновесие катушек a и b нарушается, и прибор 2, регулируя ток в передатчике импульсов 4, изменяет число импульсов, пока равновесие не восстановится.

26. Суммирование импульсов

В телеизмерительных устройствах импульсного типа мерой измеряемой величины служит число, частота или продолжительность импульсов. Этим самым каждый импульс приобретает значение определенной части измеряемой величины. Если сложить число, частоту или продолжительность импульсов, посылаемых передатчиками слагаемых, за определенный промежуток времени, то полученная суммарная частота, число или продолжительность импульсов будет пропорциональна сумме измеряемых величин.

По способу передачи телеизмерений методы суммирования импульсов делятся на две группы:

- а) суммирование продолжительности импульсов и
- б) суммирование частоты или числа импульсов.

Последняя группа в свою очередь подразделяется на:

- а) непосредственное суммирование,
- б) суммирование импульсов с запасанием и
- в) механическое суммирование (суммирование угловых перемещений).

а) Суммирование продолжительности импульсов. Этот способ применяется во время-импульсных устройствах телеизмерения и состоит в том, что импульсы от отдельных передатчиков посылаются один за другим, а в месте приема измеряется их общая продолжительность. В телеизмерительных устройствах с механическими приемниками это измерение осуществляется путем последовательной перестановки стрелки приемного прибора от ряда импульсов. Переставляющийся рычаг возвращается в нулевое положение не после каждого импульса, а после ряда импульсов, по своему числу равного числу слагаемых. Стрелка приемного прибора при получении первого импульса отклоняется на угол α_1 , пропорциональный продолжительности первого импульса (и значению первого слагаемого). При получении второго импульса она получает дополнительное отклонение α_2 , пропорциональное значению второго слагаемого, и т. д. После получения импульсов от всех слагаемых стрелка будет иметь отклонение, пропорциональное их сумме.

В телеизмерительных устройствах с электрическими приемниками поочередная передача импульсов с различной продолжительностью будет вызывать в приемном приборе, очевидно, то же действие, что и один импульс с суммарной продолжительностью. Средняя сила тока в приборе суммы будет пропорциональна сумме измеряемых величин.

Таким образом суммирование продолжительностей импульсов осуществляется просто. Для этого нужно только обеспечить строгую очередность передачи слагаемых импульсов.

При расположении слагаемых территориально в одном месте это осуществляется сравнительно легко при помощи соответствующей электрической или механической связи передатчиков друг с другом. Если же точки замера слагаемых расположены на значительном расстоянии друг от друга, то обеспечить очередность передачи импульсов трудно. Поэтому суммирование продолжительности импульсов возможно только на передающем конце.

Во время-импульсных устройствах с электрическими приемниками суммирование продолжительности импульсов неудобно еще тем, что оно ухудшает условия работы указательного прибора суммарной величины. При суммировании импульсов отношение продолжительности импульса ко всему периоду получается значительно меньше, чем при



Фиг. 111. Кривая средней силы тока при суммировании продолжительности импульсов.

телеизмерении индивидуальной величины, так как в промежутке между двумя соседними импульсами от одного слагаемого должны уложиться импульсы от всех остальных слагаемых. Если одно из слагаемых

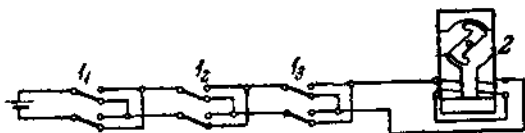
близко к своему номинальному значению, а другие близки к нулю (фиг. 111), то средняя сила тока содержит пульсации, период которых равен интервалу между двумя соседними импульсами от одного слагаемого. Стрелка указательного прибора будет при этом иметь тенденцию к колебаниям, и для спокойного ее положения необходимо прибегать к увеличению ее инерции. Поэтому во время-импульсных устройствах телеизмерения с электрическими приемниками целесообразней осуществлять суммирование на приемной стороне путем сложения токов, хотя это и дает дополнительную погрешность суммирования.

б) Непосредственное суммирование импульсов. В импульсно-частотных устройствах телеизмерения передача осуществляется путем прерывания или переключения линейного тока посредством прерывателей на оси счетчиков или промежуточных реле, включаемых этими прерывателями. В простейшем случае суммарное число прерываний или переключений можно получить, включая все прерыватели последовательно в одну цепь. Число срабатываний реле, включенного в эту цепь, будет равно сумме прерываний, даваемых отдельными прерывателями.

Одна из таких схем, применяемая фирмой Сангамо (Америка), изображена на фиг. 112. Каждый передатчик имеет двойной прерыватель, показанный на схеме в виде двойного переключающего контакта. Переключение каждого из прерывателей вызывает изменение направления тока в импульсном моторчике, якорь которого проворачивается при этом на определенный угол. Число оборотов моторчика будет про-

порционально суммарному числу переключений всех прерывателей и таким образом будет характеризовать суммарное число импульсов. Если на ось моторчика посадить прерыватель, то последний может служить передатчиком суммарного числа импульсов.

Точность суммирования по описанной схеме зависит от разновременности переключений контактов 1. При одновременном срабатывании двух переключателей изменения тока в обмотках импульсного моторчика не произойдет, что вызовет погрешность суммирования. Возможность слияния импульсов находится в прямой зависимости от следующих факторов: числа слагаемых, числа импульсов, получаемых от каждого слагаемого, времени переключения контактов 1 и времени срабатывания импульсного моторчика (по сравнению с интервалом между соседними импульсами). Поэтому в схеме Сангамо применяются быстродействующие переключатели и моторчик.



Фиг. 112. Схема суммирования импульсов фирмы Сангамо.

$1_1, 1_2$ и 1_3 — передатчики; 2 — импульсный моторчик.

При надлежащем подборе времени действия элементов схемы и продолжительности импульсов погрешность суммирования от совпадения импульсов может быть сведена к достаточно малой величине. По данным фирмы Сангамо наблюдение в течение нескольких недель за одной установкой с суммированием показаний 10 счетчиков показало погрешность суммирования всего в 0,6%.

При надлежащем подборе времени действия элементов схемы и продолжительности импульсов погрешность суммирования от совпадения импульсов может быть сведена к достаточно малой величине. По данным фирмы Сангамо наблюдение в течение нескольких недель за одной установкой с суммированием показаний 10 счетчиков показало погрешность суммирования всего в 0,6%.

в) Суммирование импульсов с запасанием. Погрешность, связанную с совпадением двух импульсов, можно устранить, направляя слагаемые импульсы в суммирующее реле с соблюдением определенной последовательности. Для этого часть импульсов, поступающих одновременно, должна запасаться в суммирующем устройстве до наступления очереди их передачи. Такое запасание импульсов может быть произведено механическим или электрическим устройством.

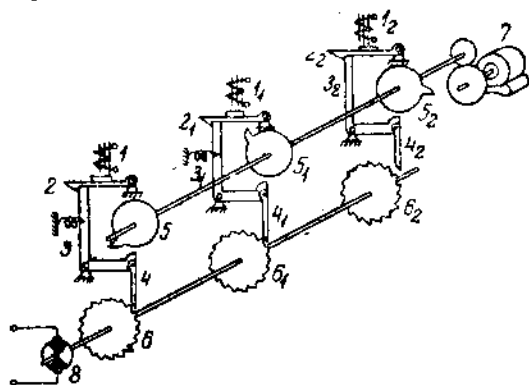
Механический способ запасания импульсов применяет фирма Ландис и Гир (Швейцария). Принципиальная схема приведена на фиг. 113.

Слагаемые импульсы поступают в электромагниты I , I_1 и I_2 . При поступлении импульсов электромагниты притягивают свои якоря с собачками 2, которые освобождают при этом рычаги 3. Эти рычаги под действием пружин отклоняются в сторону и взводят храповики 4. Обратное возвращение рычагов 3 происходит при помощи восстанавливающих дисков 5 с кулачками. Ось, на которой сидят эти диски, непрерывно вращается моторчиком 7. Кулачки дисков 5, проходя мимо выступов на рычагах 3, нажимают на них и возвращают рычаги 3 в нормальное положение, в котором они задерживаются собачками 2. Одновременно при помощи храповиков 4 рычаги 3 поворачивают храповые колеса 6 на один зуб. Так как кулачки на восстанавливающих дисках 5 взаимно смещены по окружности на определенный угол,

то перемещение храповых колес 6 для различных слагаемых происходит последовательно во времени, даже если импульсы, воспринимаемые электромагнитами 1, поступают одновременно. Скорость вращения оси храповых колес 6 пропорциональна суммарному числу импульсов, которые посылаются прерывателем 8 в пункт приема телеизмерений.

Суммирующее устройство с электрическим запасанием импульсов применяет фирма АЕГ. Принципиальная схема для двух слагаемых изображена на фиг. 114.

Запасание импульсов производится при помощи электромагнитных телефонных реле, включаемых по цепной схеме. Каждому слагае-



Фиг. 113. Суммирующее устройство с механическим запасанием импульсов фирмы Ландис и Гир.

1 — приемное реле; 2 — якорь реле с собачкой; 3 — рычаг; 4 — храповик; 5 — восстанавливающий диск; 6 — храповое колесо; 7 — вспомогательный моторчик; 8 — прерыватель.

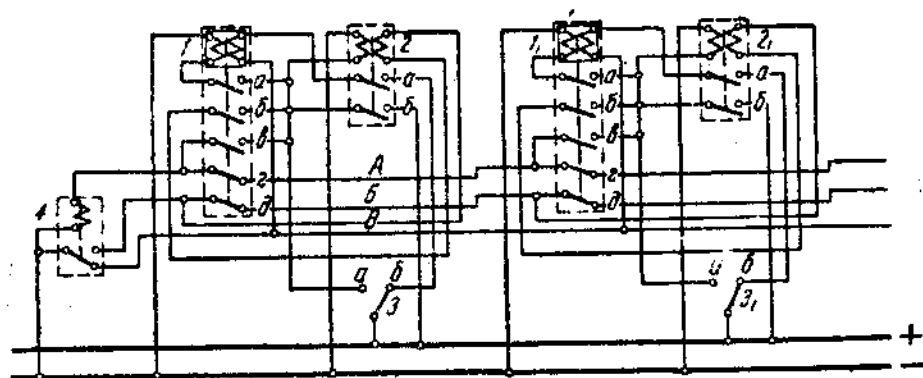
мому в схеме соответствуют два реле: импульсное 1 и подготовительное 2. Посылка слагаемых импульсов производится переключателем 3.

Рассмотрим сначала порядок передачи импульсов одного слагаемого.

При замыкании переключателем 3 контакта а включается реле 2 (левая обмотка), блокируя себя во включенном состоянии контактом б. В таком состоянии реле 2 будет находиться, пока переключатель 3 не замкнет контакта б. В этот момент через замкнутые контакты 2а и нижнее положение контактов реле 4 замкнется цепь правой обмотки реле 1. Это реле, включаясь, своими контактами 1г и 1д отключит цепь проводов А и Б от реле 1 других слагаемых, предупреждая этим передачу одновременных импульсов. Контактom 1а реле 1 блокирует себя во включенном состоянии, контактом 1в дает напряжение через провод А на реле суммарных импульсов 4, а контактом 1б подготавливает цепь деблокирующей (правой) обмотки реле 2. Реле 4 срабатывает, переключая своими контактами минус источника тока с провода В на провод Б. При этом включается правая обмотка реле 2, цепь которой была подготовлена контактом 1б. Витки правой обмотки реле

2 направлены противоположно виткам его левой обмотки, и поэтому при включении правой обмотки реле 2 выключается и размыкает свои контакты. При этом контактом 2б оно размыкает цепь реле 1 и 4, которые отпадают. Вся схема после этого приходит в первоначальное состояние, причем реле 1 контактами 1г и 1д соединяет провода А и Б, предоставляя их для передачи импульсов других слагаемых.

В случае одновременного поступления импульсов двух слагаемых они передаются на реле 4 друг за другом. Предположим, например, что произошло одновременное переключение обоих изображенных на фиг. 114 переключателей 3 и 3₁. При этом сработает как реле 1, так и реле 1₁. Импульс от реле 1₁ не попадет на реле 4, так как провода



Фиг. 114. Принципиальная схема суммирования с электрическим запасанием импульсов.

1 — импульсное реле; 2 — подготовительное реле; 3 — переключатель счетчика; 4 — суммарное реле.

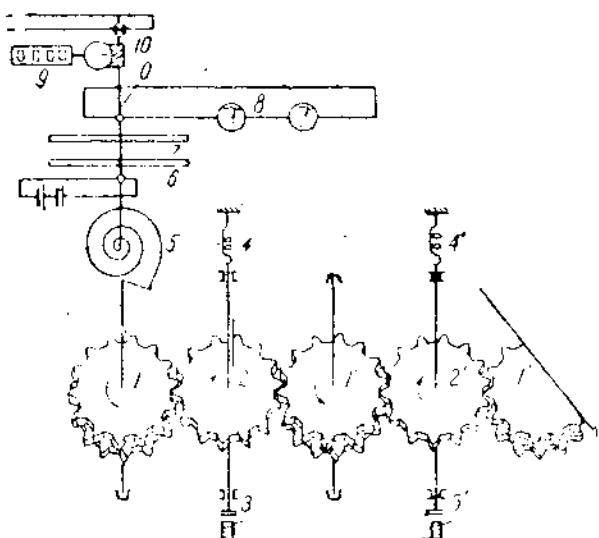
А и Б будут разомкнуты контактами 1г и 1д. Импульс от реле 1 вызовет таким же порядком, как это было описано выше, включение и выключение реле 4. Таким образом в схеме фиг. 129 предпочтение оказывается слагаемому с меньшим порядковым номером. Когда передача импульса от реле 1 будет закончена и реле 1 и 4 придут в спокойное состояние, провода А и Б снова окажутся замкнутыми. При этом провод А получит напряжение от контакта 1 в реле 1₁, которое осталось во включенном состоянии, и реле 4 снова сработает, приняв импульс от второго слагаемого. При срабатывании реле 4 включает деблокирующую катушку реле 2₁, выключая реле 2₁, реле 1₁ и себя самого. Таким образом полученные одновременно импульсы передаются на реле 4 друг за другом.

г) **Механическое суммирование импульсов.** Механическое суммирование импульсов осуществляется в большинстве случаев путем сложения угловых перемещений, пропорциональных числу импульсов отдельных слагаемых. Если заставить каждый импульс поворачивать на определенный угол ось сумматора, соответствующую одному слагаемому, и связать оси всех слагаемых между собой в кинематическую цепь так, чтобы скорости вращения их складывались, то скорость вра-

щения оси, являющейся последним звеном в кинематической цепи, будет, очевидно, пропорциональна сумме импульсов слагаемых.

Наиболее простым методом суммирования скоростей вращения является способ сложения их при помощи дифференциальных механизмов. Этот способ был уже описан выше при рассмотрении сложения скоростей вращения осей счетчиков.

При суммировании импульсов кинематическая схема соединения дифференциальных механизмов остается та же, что и при суммировании скоростей (фиг. 94), и разница заключается только в том, что боковые



Фиг. 115. Устройство с суммированием импульсов Мосэнерго.

1 — двойное зубчатое колесо; 2 — одинарное зубчатое колесо; 3 — реле, принимающие импульсы от отдельных слагаемых; 4 — возвращающие пружинки; 5 — сглаживающая пружинка; 6 — мотор; 7 — генератор; 8 — указательные приборы суммы; 9 — счетный механизм; 10 — прерыватель.

колеса дифференциальных механизмов в нижнем ряду пирамиды получают перемещения не от осей счетчиков, а от импульсных моторчиков или от храповых механизмов, перемещающихся под действием импульсов, получаемых от отдельных слагаемых.

Несколько другой принцип использован в суммирующем устройстве, разработанном Центральной лабораторией и Экспериментальными мастерскими (ЦЛЭМ) Мосэнерго (фиг. 115).

В этом устройстве ось суммы 0 находится под действием момента моторчика постоянного тока 6. Ось эта заводит пружинку 5, второй конец которой закреплен на спусковом (ходовом) механизме. Скорость вращения моторчика определяется скоростью, с которой освобождается спусковым механизмом второй конец пружинки 5, связанный с этим механизмом. Последний представляет собой цепь зубчатых одинарных

и двойных колес специальной конструкции. Оси одинарных колес (2, 2' и т. д. на фиг. 115) помещаются на якорях реле 3, воспринимающих импульсы, и перемещаются при срабатывании и отпускании этих реле вверх и вниз. Двойные колеса (1, 1' и т. д. на фиг. 115) неподвижны в пространстве и могут только вращаться вокруг своих осей. Каждое двойное колесо состоит из двух одинарных колес, сидящих на одной оси, зубцы которых взаимно расположены в шахматном порядке. Цепь таких зубчатых колес с одной стороны закреплена неподвижно, а с другой — находится через пружинку 5 под действием момента от моторчика 6.

При отсутствии импульсов и спокойном положении якорей реле 3 вся система колес неподвижна. Мотор-генератор 6-7 также находится в покое. При поступлении импульсов реле 3, притягивая и отпуская свои якоря, перемещают колеса 2 вверх и вниз. При каждом перемещении подвижного колеса вверх или вниз ближайшее двойное колесо получает возможность провернуться на угол, соответствующий половине расстояния между зубцами. На соответствующий угол сможет повернуться и ось моторчика. Это относительное проскальзывание одинарного и двойного колеса происходит вне зависимости от того, находится ли система колес в покое или вращается. В случае одновременного получения нескольких импульсов на различные приемные реле каждое из подвижных колес 2 дает соседним двойным колесам 1 возможность провернуться относительно него на определенный угол. Так как это перемещение через цепь колес передается колесу, связанному с осью моторчика 6, то эта ось повертывается на угол, равный сумме всех угловых перемещений двойных колес и пропорциональный в соответствии с этим суммарному числу одновременно полученных импульсов. Такое же угловое перемещение получает и ось моторчика 6, скорость вращения которой получается при этом равной суммарному числу импульсов, получаемых от отдельных слагаемых в единицу времени.

Скорость вращения оси моторчика измеряется при помощи генератора постоянного тока 7, напряжение которого измеряется приборами 8. Эти приборы служат для указания суммарной величины на передающем конце. Для передачи суммарной величины в месте приема служит прерыватель 10, имеющийся на оси моторчика 6.

Рассмотрим теперь описанные устройства суммирования импульсов с точки зрения поставленных выше требований. Эти требования выполняются этим типом устройств только частично.

Количество слагаемых теоретически может быть как угодно велико, практически же оно ограничивается определенным пределом частично вследствие конструктивных и частично вследствие принципиальных возможностей.

В устройствах с непосредственным суммированием импульсов этот предел определяется увеличением погрешности суммирования вследствие совпадения импульсов. Вероятность этого совпадения тем больше, чем больше число слагаемых.

В устройствах с механическим суммированием импульсов и механическим запасанием импульсов суммирование происходит с абсолют-

ной точностью. Увеличение числа слагаемых лимитируется конструктивными усложнениями и при большом числе слагаемых громоздкостью суммирующего устройства.

В устройствах с электрическим запасанием импульсов количество слагаемых ограничивается зависимостью между временем действия реле и частотой импульсов отдельных слагаемых. Действие схемы, изображенной на фиг. 114, будет происходить правильно только при соблюдении определенной зависимости между временем переключения контактов 3 переключателей и временем срабатывания и отпускания реле 1, 2 и 4. Так, например, контакты 6 переключателей 3 должны быть замкнуты минимум в течение времени, которое необходимо для срабатывания реле 1 и срабатывания и отпускания реле 4. Если оно будет меньше этого промежутка, то при переключении переключателя 3 в тот момент, когда реле 4 воспринимает импульс от другого слагаемого и его контакты находятся в верхнем положении, реле 1 соответствующего слагаемого может остаться невключенным, так как провод В будет в этот момент отсоединен от источника тока.

Промежуток времени между замыканием контактов а и б переключателей должен быть достаточен для того, чтобы за это время могли быть переданы импульсы от всех слагаемых. Если этот промежуток времени будет меньше, то при одновременном получении импульсов от всех слагаемых реле одного из слагаемых, имеющее меньший порядковый номер, может подействовать прежде, чем будет передан импульс от последнего слагаемого, и реле 1 последнего останется в притянутом состоянии, благодаря чему импульс от него пропадет. При определенной частоте импульсов, получаемых от передатчиков отдельных слагаемых, это ограничивает число слагаемых.

Некоторые ограничения в отношении частоты импульсов имеются и в суммирующих устройствах с механическим запасанием импульсов. Здесь промежуток времени между двумя импульсами, поступающими от одного и того же слагаемого при максимальной частоте их, должен быть больше, чем время одного оборота оси с восстанавливающими дисками 5 (фиг. 113). Иначе восстанавливающие диски не будут успевать возвращать рычаги 3 в их нормальное положение до поступления следующего импульса, и часть импульсов будет пропадать.

Некоторые ограничения в отношении частоты импульсов имеются также и в остальных типах суммирующих устройств. Поскольку в этих устройствах для приема импульсов используются электромагнитные механизмы, частота импульсов отдельных передатчиков не может быть больше 8—10 импульсов в секунду. Исключение составляют устройства с суммированием импульсов посредством дифференциальных механизмов, в которых прием импульсов может осуществляться при помощи импульсных моторчиков.

Второе требование — возможность получения наряду с общей суммой также и частичных сумм или индивидуальных показаний — устройствами суммирования импульсов полностью не выполняется. В большинстве устройств это связано с большими конструктивными трудностями (выведение промежуточных осей), а в некоторых устройствах (с запасанием импульсов) и просто невозможно. Переключе-

ние отдельных слагаемых из одной частичной суммы в другую в большинстве случаев также невозможно. В случае необходимости получения частичных сумм и переключения слагаемых из одной суммы в другую целесообразно устанавливать для каждой частичной суммы и для общей суммы отдельные суммирующие устройства.

Вычитание возможно только в некоторых типах устройств (устройствах с механическим запасанием импульсов и в устройствах с дифференциальными механизмами), и то только в тех случаях, когда вычитаемая величина не меняет своего знака.

Изменение цены слагаемых величин возможно только в устройствах с механическим сложением импульсов. В устройствах с непосредственным суммированием импульсов и с запасанием импульсов, где подсчет суммарного числа импульсов производится одним механизмом, общим для всех слагаемых, каждый импульс, от какого бы передатчика он ни исходил, должен иметь одинаковую цену. Поэтому в этих устройствах переключатели на счетчиках выполняются индивидуально для каждого счетчика, и число импульсов, даваемых каждым счетчиком, меняется в соответствии с номинальным значением измеряемой величины.

В суммирующих устройствах с механическим сложением импульсов, где каждому слагаемому соответствует отдельное звено механизма, можно путем изменения передач между отдельными звеньями изменять цену слагаемых. Однако и здесь это осуществляется достаточно просто в конструктивном отношении, только в суммирующих устройствах с дифференциальными механизмами.

Дальнейшая передача суммарной величины в устройствах с суммированием импульсов не представляет затруднений. В большинстве суммирующих устройств этого типа дальнейшая передача суммарных импульсов не требует никаких дополнительных приспособлений, в тех же устройствах, где эти дополнительные устройства необходимы, они конструктивно очень просты и элементарны.

Таким образом устройства с суммированием импульсов, давая абсолютно точное суммирование (за исключением устройств с непосредственным суммированием импульсов) и легкую возможность дальнейшей передачи, являются далеко неудовлетворительными в отношении остальных свойств. Это ограничивает их применение частными случаями и, главным образом, суммированием на передающей стороне, где необходимость в получении частичных сумм и индивидуальных показаний встречается значительно реже, но зато легкость получения дальнейшей передачи суммарной величины имеет большое значение.

ГЛАВА VIII

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТРОЙСТВ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ

27. Определение термина телеуправления и краткая история развития аппаратуры телеуправления

Электрическое управление аппаратами на расстоянии получило широкое распространение в распределительных устройствах электрических установок и называется дистанционным управлением. Под этим термином подразумеваются устройства, позволяющие управлять электрическими аппаратами при помощи средств техники сильных токов по сравнительно большому числу проводов сравнительно большего сечения. Так, например, для управления масляным выключателем в общепотребительных схемах дистанционного управления требуется 7 жил сечением $2\frac{1}{2} - 4 \text{ мм}^2$.

С увеличением расстояния между пунктом управления и управляемой аппаратурой применение дистанционного управления становится нерациональным вследствие резкого удорожания контрольных кабелей. Практически предельное расстояние для целесообразного применения дистанционного управления составляет 150—200 м.

Количество управляемых аппаратов и количество сигналов, передаваемых со станции в диспетчерский пункт и обратно, бывает обычно довольно велико. Расстояния при этом многократно превышают указанный предел порядка 200 м. Поэтому для контроля работы и управления электрическими аппаратами на большом расстоянии с диспетчерских пунктов возникает необходимость в специальных устройствах, допускающих управление большим количеством аппаратов и передачу большого количества сигналов по малому числу проводов малого сечения, применяя слабые токи. Такие устройства называются устройствами телеуправления и телесигнализации. В дальнейшем для сокращения мы будем употреблять термин «устройства телеуправления», подразумевая под этим устройства, одинаково и одновременно пригодные для управления и передачи сигналов.

Телеуправление является молодой отраслью техники. Первые установки появились около 15 лет назад в Америке. Фирма Вестингауз установила свою первую установку телеуправления на Клевеландской железной дороге в 1921 г. Фирма Дженераль Электрик выпустила

свою первую установку телеуправления, работающую по селекторному принципу, в 1920 г. и первую, работающую по дистрибуторному принципу, в 1921 г.

Сходство задач, поставленных перед устройствами телеуправления (передача большого числа команд и сигналов по малому числу проводов), с задачами, уже разрешенными в технике телеграфии (многократное телеграфирование, буквопечатающие аппараты), железнодорожной сигнализации и телефонии, привело к тому, что конструкторы на первых порах при разработке аппаратов телеуправления применяли принципы, а иногда и аппараты, применявшиеся в упомянутых выше областях. Так, например, фирма Дженераль Электрик К^о в своих первых системах телеуправления селекторной и дистрибуторной применила: в первой аппараты и принципы железнодорожного трехпроводного селекторного телефона и во второй — аппараты, являющиеся видоизменением печатающих телеграфных.

Благодаря использованию уже проверенных на практике принципов и аппаратов устройства телеуправления быстро преодолели детские болезни, присущие всякому новому оборудованию, и получили широкое распространение.

Однако опыт работы первых установок телеуправления позволил выявить некоторые специфические особенности работы аппаратов телеуправления, которые заставили отказаться от чистого перенесения опыта телеграфии и железнодорожной сигнализации, и новые системы телеуправления стали выпускаться с учетом этих особенностей. Быстрое развитие и совершенствование в последнее время автоматической телефонии, давшей более простые и дешевые аппараты и способы передачи сигналов, заставило конструкторов устройств телеуправления заново пересмотреть применявшиеся ими принципы, и примерно с 1928/29 г. все новые системы телеуправления начинают в основном применять аппаратуру автоматических телефонных станций¹.

Устройства телеуправления выпускаются в настоящее время всеми крупными электротехническими фирмами. Каждая фирма имеет несколько типов устройств для различных условий применения. Эти устройства получили за границей широкое распространение и обслуживают весьма ответственные установки. В эксплуатации большинство из них показали себя безупречно работающими и вполне надежными.

28. Основные функции, выполняемые устройствами телеуправления

Как можно видеть из анализа работы диспетчера, произведенного в первой части настоящей книги, устройства телеуправления в больших энергосистемах используются для управления самыми разнообразными аппаратами и передачи самых разнообразных сигналов. По характеру этих сигналов их можно разделить на три группы:

¹ Известный германский авторитет W. Stäblein определяет современную аппаратуру телемеханики как рациональную среднюю линию между слаботочной и сильноточной аппаратурой, указывая на повсеместное признание такого направления. Прим. ред.

а) Телеуправление и телекомандование. К этой группе относятся сигналы, посылаемые из диспетчерского пункта на контролируемую установку (станцию или подстанцию) для управления расположенными там аппаратами. Сигналами телеуправления называются сигналы, которые непосредственно воздействуют на контролируемые аппараты, заставляя их автоматически осуществлять то или иное действие. Сигналами телекомандования мы будем называть сигналы, которые только указывают дежурному персоналу контролируемой установки на необходимость произвести то или иное действие.

б) Телеконтроль. К этой разновидности телесигнализации принадлежит автоматическая передача сигналов с контролируемой установки в диспетчерский пункт. Сюда прежде всего относятся обратные сигналы, извещающие диспетчера о выполнении переданных им сигналов телеуправления или телекомандования, и кроме того, сигналы, передаваемые от различной автоматической контрольной аппаратуры, извещающей диспетчера о понижении напряжения, давлении пара, направлении активной и реактивной мощности и т. п.

в) Распорядительная и известительная телесигнализация. Под этим термином мы будем подразумевать передачу сигналов, заменяющих типовые телефонные распоряжения и сообщения. Они посылаются диспетчером и дежурным персоналом станций и подстанций от руки. Сигналы, посылаемые из диспетчерского пункта на контролируемую установку, мы будем называть распоряжительными, а сигналы, посылаемые с контролируемой установки в диспетчерский пункт, — известительными.

Чтобы охарактеризовать многообразие всех функций и сигналов, которые должны выполнять и передавать устройства телеуправления, ниже приведен список этих функций:

1. В части телеуправления и телекомандования устройства телеуправления должны:

- а) производить включение и выключение масляных выключателей и разъединителей;
- б) переключать ответвления регулировочных трансформаторов;
- в) изменять положение индукционных регуляторов;
- г) воздействовать на паровые регуляторы и регуляторы возбуждения машин;
- д) производить пуск и остановку машин;
- е) производить вызов телеизмерительных приборов для передачи показаний в диспетчерский пункт и т. д.

2. В части телеконтроля (автоматической телесигнализации) устройства телеуправления должны осуществлять передачу следующих сигналов:

- а) положение масляных выключателей и разъединителей;
- б) положение ответвлений регулировочных трансформаторов;
- в) направление активной и реактивной мощности;
- г) извещения об исчезновении напряжения и о появлении заземления в сети;

е) извещения о перегрузках и недопустимых понижениях напряжения в выбранных точках системы;

ф) извещения о недопустимых отклонениях давления пара котельных и т. д.

3. В части распорядительной и известительной (ручной) телесигнализации устройства телеуправления должны осуществлять передачу таких сигналов, как: «понижить», «повысить», «напряжение», «нагрузку», «регулируйте частоту», «включите», «выключите», «машину», «потребителей», «авария», «даю напряжение», «жду напряжения» и т. п.

Передача всех этих многообразных сигналов с точки зрения действия самих передающих устройств осуществляется принципиально единообразно. Для передачи различных по характеру сигналов не нужно применять различных передающих устройств. Нужно только обеспечить, чтобы сигнал был принят в месте его назначения и попал на соответствующее исполнительное устройство.

Все сигналы управления, команды и распорядительные, передаваемые из диспетчерского пункта на контролируемую установку, могут быть сведены к двум взаимно противоположным сигналам («включить» — «выключить», «пустить» — «остановить», «повысить» — «понижить» и т. п.). Все обратные сигналы могут быть сведены также к двум противоположным сигналам («включено» — «выключено», «пущено» — «остановлено», «понижено» — «повышено» и т. п.). Таким образом для каждого объекта вне зависимости от его характера устройства телеуправления должны передавать максимум два сигнала в одну сторону и два сигнала в другую сторону.

Если передача разнообразных сигналов может происходить при помощи одних и тех же элементов устройств телеуправления, то посылка и исполнение этих сигналов требуют различного выполнения посылающих и исполнительных устройств. Это является следствием различных требований со стороны различных объектов к порядку передачи и осуществления сигналов в месте их передачи и приема. Поэтому посылающие и исполнительные элементы устройств телеуправления выполняются по-разному в зависимости от назначения.

С другой стороны, выполнение посылающих и исполнительных элементов устройств телеуправления, действие которых замыкается в пределах диспетчерского пункта или контролируемой установки, не зависит от условий связи между этими пунктами, от расстояния между ними и т. п. Элементы устройства, передающие и принимающие сигналы, непосредственно зависят от этих условий и для различных условий должны выполняться по-разному.

В конструктивном отношении устройства телеуправления состоят обычно из двух частей, одна из которых устанавливается в диспетчерском пункте, а другая — на контролируемой установке. Обе части соединяются линией связи, по которой происходит передача сигналов (фиг. 116). Каждая часть содержит элементы посылки, элементы передачи и элементы исполнения.

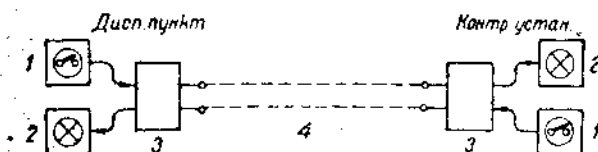
Элементами посылки устройств телеуправления называются его части, служащие для посылки сигналов. В диспетчерском

пункте этими элементами являются ключи или кнопки, воздействуя на которые, диспетчер производит посылку сигналов. На контролируемой установке ими служат сигнальные контакты, связанные с контролируемыми аппаратами, которые, переключаясь при изменении положения этих аппаратов, посылают в диспетчерский пункт сигнал о переключении.

Исполнительными элементами называются те части устройств телеуправления, которые выполняют или воспроизводят посланные сигналы. Этими элементами являются сигнальные реле,

которые, срабатывая при получении сигналов, включают соответствующие лампы и звуковые сигналы или управляющие реле контролируемых аппаратов.

Элементы посылки и исполнения варьируются в зависимости



Фиг. 116. Принципиальная схема устройства телеуправления.

1 — элемент посылки; 2 — элемент исполнения; 3 — элемент приема и передачи; 4 — линия связи.

от характера передаваемых сигналов, элементы передачи — в зависимости от условий связи.

Ввиду различных требований и условий передачи, посылки и исполнения сигналов, мы будем рассматривать эти операции в дальнейшем изложении отдельно. При этом мы сначала изучим методы и способы передачи сигналов, а затем перейдем к рассмотрению схем посылки и исполнения.

29. Основные требования, предъявляемые к устройствам телеуправления

Одними из наиболее важных требований, предъявляемых к установкам телеуправления, являются требования надежности их действия, которые разделяются на:

- а) требования надежности передачи сигналов;
- б) требования надежности воспроизведения и исполнения сигналов.

Требования надежности передачи в первую очередь должны обусловить невозможность передачи неправильного сигнала. Устройства телеуправления должны быть осуществлены таким образом, чтобы ни воздействия извне в виде возникновения каких-либо импульсов на линии связи, ни повреждение самого устройства не вызывали передачу неправильного сигнала. Устройство телеуправления, как и всякая релейная схема, не может обладать стопроцентной надежностью, поэтому в известной мере неправильные его действия возможны. В таких случаях может быть допущена максимум непередача сигнала, ложной же передачи сигнала не должно быть ни при каких условиях.

Для обеспечения этого требования в устройствах телеуправления применяются специальные меры, контролирующие правильность пе-

передачи сигналов и в случае нарушения правильной работы устройства приостанавливающие передачу. Эти меры контроля будут рассмотрены ниже в специальном разделе.

Следующим требованием надежности является необходимость повторной передачи сигнала в тех случаях, когда он не был передан. Непередача сигнала может быть вызвана кратковременным нарушением работы устройства. Сигналы, передаваемые в момент нарушения, могут оказаться непереданными, хотя работа устройства после исчезновения нарушения восстановится. Поэтому в ряде устройств телеуправления предусматриваются специальные приспособления, осуществляющие после кратковременного нарушения работы устройства повторную передачу сигналов.

Одним из весьма существенных требований в отношении надежности работы устройств телеуправления является так же и требование локализации повреждений в цепях посылки и исполнения. Это требование заключается в том, что при повреждении в одной из этих цепей работа устройства телеуправления не должна нарушаться. Все остальные цепи посылки и исполнения должны остаться нормально действующими и сигналы для них должны передаваться совершенно беспрепятственно.

Максимум, что допустимо в таких случаях, это непередача сигнала для поврежденной цепи.

Требование локализации повреждений в цепях посылки и исполнения является важным потому, что количество этих цепей, пропорциональное числу обслуживаемых объектов, бывает велико. Как правило, количество соединений и количество контактов в этих цепях во много раз больше, чем в цепях передачи сигналов, и возможность повреждения в них во много раз вероятнее. Это усугубляется еще тем, что цепи посылки и исполнения, непосредственно связанные с контролируемыми объектами, обычно имеют проводку, проходящую через целый ряд коммутационных пунктов (переходные поля, кроссы), и нередко бывают распространены по всему зданию контролируемой установки (подводка от сигнальных и управляющих цепей контролируемых аппаратов) или диспетчерского пункта (подводка от управляющих ключей). Поэтому, если повреждение в какой-либо одной из цепей посылки и исполнения будет вызывать приостановку действия всего устройства телеуправления, то это сильно увеличит число отказов в действии устройства телеуправления.

Весьма существенным является также требование самоконтроля устройств телеуправления. Это требование сводится к тому, что устройства телеуправления должны сигнализировать диспетчеру свое состояние, давая ему сигналы о своем повреждении, об отказе в передаче сигнала, о перегорании предохранителей, исчезновении напряжения питающего тока и т. п. В ряде случаев выставляется также требование, чтобы установки телеуправления контролировали состояние линий связи, давая диспетчеру сигнал об обрыве линии связи или коротком замыкании на ней. Эти сигналы дают диспетчеру возможность судить о работоспособности установок телеуправления и правильности передачи ими сигналов.

В отношении надежности передачи сигналов имеют значение также требования к так называемому «запасанию» сигналов. Сигналы, возникшие одновременно, должны быть переданы устройством телеуправления без взаимных помех. Передача таких сигналов осуществляется обычно друг за другом, причем на время передачи одного сигнала другой запасается. Сигналы, возникшие за время повреждения устройства телеуправления (например, при повреждении линии, перегорании предохранителей и т. п.), также должны быть запасены и после исправления устройства переданы по назначению при первом же цикле работы его.

Помимо надежности передачи сигналов устройства телеуправления должны также удовлетворять требованиям надежности приема и послышки сигналов. Здесь должен быть выбран такой порядок, который, с одной стороны, обеспечивал бы достаточный контроль дежурного персонала за действиями схемы во время послышки сигнала, а с другой — предусматривал бы невозможность игнорирования персоналом полученного сигнала. Подробнее порядок послышки и приема сигналов изложен при рассмотрении схем сигнализации в диспетчерском пункте (стр. 283). Ниже приводятся только основные требования, выполнение которых должно обеспечить надежность послышки и приема сигналов.

В отношении послышки эти требования сводятся к разделению процесса послышки на две операции: подготовительную и исполнительную. Во время подготовительной операции диспетчер или дежурный подготавливает послышку сигнала. После этой подготовки он должен иметь возможность по состоянию индикаторов или положению ключей проверить правильность намечаемых операций и затем уже послать сигнал, приведя в действие элементы передачи установки телеуправления. Если диспетчер при подготовке послышки сигнала ошибся, то ему должна быть предоставлена возможность исправить свою ошибку или совсем отменить передачу сигнала, не приводя в действие элементы передачи. Если диспетчер обнаружил свою ошибку уже после послышки сигнала, то он должен иметь возможность отменить исполнение этих сигналов послышкой специального сигнала «отбой».

При приеме сигналов требования надежности сводятся прежде всего к обязательности наличия кроме световых индикаторов приема каждого сигнала также и звуковой сигнализации, привлекающей внимание диспетчера или дежурного персонала к устройству телеуправления. Помимо этого требуется, чтобы каждый полученный в диспетчерском пункте или на контролируемой установке сигнал был к в и т и р о в а н: при получении каждого сигнала диспетчер или дежурный на контролируемой установке должен произвести определенное действие, повернуv, например, специальный к в и т и р у ю щ и й ключ и засвидетельствовал таким образом, что сигнал им принят (дав к в и т а н ц и ю в приеме сигнала). Обычно процесс квитирования связывают с звуковым сигналом и так называемыми индикаторами не с о о т в е т с т в и я, о которых будет сказано несколько ниже, таким образом, что звуковой сигнал и индикаторы несоответствия могут быть выключены только после квитирования всех полученных сигналов.

Процесс квитирования, обеспечивая надежность приема диспетчером или дежурным контролируемой установки сигналов, вместе с тем помогает ему быстрее осмыслить значение полученного сигнала, заставляя его помимо зрительного восприятия производить еще и определенные действия по приему сигнала.

Квитирование не обеспечивает еще, однако, полной надежности приема сигналов. Это относится, главным образом, к сигналам о положении контролируемых объектов и объясняется тем, что количество этих сигналов на контролируемой установке, а в особенности в диспетчерском пункте, бывает очень велико. Сигнализация положения контролируемых объектов производится при помощи сигнальных лампочек разного цвета, механических индикаторов или путем освещения частей схемы, выполненной из прозрачного материала. Среди большого количества индикаторов на диспетчерском щите трудно заметить изменение цвета сигнальной лампочки или положения механического индикатора при переключении какого-либо одного объекта. Поэтому к системам телеуправления предъявляется требование выделения объекта, изменившего свое положение, при помощи специальных сигналов, которые резко отличали бы его от других объектов, сохранивших свое прежнее положение. Эти сигналы носят название сигналов несоответствия, так как они указывают на несоответствие положения контролируемого аппарата положению его квитующего ключа в диспетчерском пункте (до момента квитирования сигнала). В качестве сигналов несоответствия применяют зажигание специальной лампочки несоответствия, переключение сигнальной лампочки объекта со спокойного света на мигающий или оба эти сигнала вместе.

Следующее основное требование, которое предъявляется к установкам телеуправления, — это требование быстроты передачи. В существующих устройствах время передачи не превосходит 20 сек., причем наиболее совершенные системы телеуправления имеют время передачи порядка 4—5 сек. Это время с совершенствованием техники телеуправления имеет тенденцию все более и более сокращаться и, например, в самых последних типах устройств не выходит за пределы одной секунды. Следует указать, что малое время передачи сигналов имеет большое значение только при непосредственном управлении контролируемыми аппаратами из диспетчерского пункта. Здесь большое время вызывает значительную паузу между посылкой управляющего сигнала и получением контрольного сигнала об исполнении.

При телекомандовании, автоматической и ручной телесигнализации разница в скорости передачи порядка секунд особого значения не имеет, лишь бы полное время передачи укладывалось в определенных минимальных пределах (порядка до 1 мин.). При передаче команды или какого-либо распоряжения время исполнения этой команды или распоряжения бывает обычно во много раз больше, чем время передачи, а при телеконтроле секунды не играют роли.

Следующим важным фактором являются требования к источникам тока.

Для питания устройств телеуправления в подавляющем большинстве случаев применяется постоянный ток. Прежде всего этим обеспе-

чивается действие устройства в случае аварий, связанных с исчезновением на контролируемой установке напряжения переменного тока. При питании устройства телеуправления от переменного тока при таких авариях оно будет переставать действовать именно в те моменты, когда оно нужно для передачи диспетчеру сигналов о происшедших во время аварии выключениях. Поэтому и при питании установок телеуправления постоянным током не следует применять выпрямители, питающиеся от сети переменного тока, без резерва в виде аккумуляторной батареи. Лучше всего питать устройства телеуправления выпрямителями, работающими параллельно с аккумуляторной батареей. Такой способ питания является наиболее экономичным, требуя аккумуляторных батарей небольшой величины. Емкость аккумуляторной батареи должна при такой схеме обеспечить питание устройств телеуправления только на время исчезновения переменного тока. По техническим условиям Главэнерго это время определяется в $1\frac{1}{2}$ часа.

Второй причиной применения постоянного тока для питания установок телеуправления является то, что реле постоянного тока при одинаковой затрате электрической энергии имеют большую мощность контактов, чем реле переменного тока. Реле переменного тока сложнее по конструкции, так как требуют специальных устройств для избежания вибрации контактов от синусоидального изменения магнитного потока.

Наконец, последняя причина преимущественного применения постоянного тока заключается в уже упоминавшейся выше тенденции применять в последнее время для устройств телеуправления аппаратуру автоматической телефонии, которая построена для постоянного тока.

Остановимся еще на двух требованиях к источникам тока. Во первых, устройства телеуправления не должны требовать строгого постоянства напряжения питающих источников тока и должны устойчиво и надежно работать при эксплуатационных колебаниях этого напряжения в $\pm 15\%$.

Во-вторых, устройства телеуправления должны требовать минимального расхода энергии. Современные типы устройств приходят в действие обычно только при необходимости в передаче сигналов. В остальное время для предупреждения излишнего износа они находятся в покое. Так как продолжительность работы (рабочее время) устройств телеуправления очень мала ¹ и большую часть времени они находятся в состоянии покоя, то для достижения минимального расхода энергии нужно только обеспечить, чтобы в состоянии покоя в устройствах телеуправления находилось под током минимальное количество реле.

30. Принципы действия устройств телеуправления и их классификация

Устройства телеуправления можно классифицировать по ряду различных признаков. Мы будем рассматривать классификацию устройств телеуправления в зависимости от числа каналов связи и в зависимости от методов селекции. Первое определяет возможности ис-

¹ По подсчетам инж. Коберих время действия устройств телеуправления составляет $\frac{1}{400}$ часть времени суток.

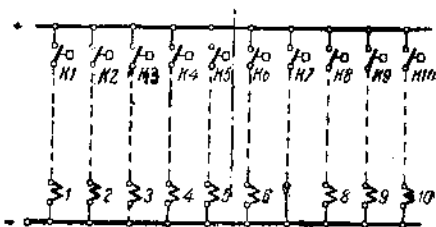
пользования устройств телеуправления в различных условиях связи, а второе характеризует их возможности в отношении числа передаваемых сигналов, надежности передачи, экономичности и т. п.

С точки зрения числа каналов связи устройства телеуправления можно подразделить на:

- а) многоканальные;
- б) малоканальные ¹.

В многоканальных устройствах телеуправления импульсы управления или сигнализации передаются по каналам связи параллельно во времени, воздействуя в месте приема или непосредственно на исполнительные реле или на реле, производящие выбор соответствующего объекта (фиг. 117). Количество каналов связи в этих устройствах зависит от числа контролируемых объектов, составляя целое или дробное число на каждый объект.

В малоканальных устройствах сигнальные импульсы передаются по каналам связи последовательно во времени. Последовательная передача осуществляется посредством переключателей ², устанавливаемых в управляемом и управляющем пунктах и осуществляющих



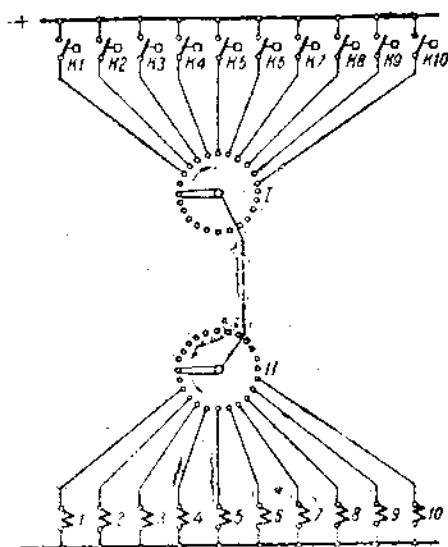
Фиг. 117. Принципиальная схема многоканального устройства.

K1 — K10 — управляющие ключи; 1—10 — исполнительные реле.

¹ Эти термины приняты нами вместо обычно применяемых терминов «многопроводные» и «малопроводные» вследствие того, что они правильнее характеризуют устройства телеуправления с точки зрения использования ими линий связи. Термины, использующие в качестве элемента слово «провод», являются менее точными вследствие того, что количество проводов не всегда характеризует количество линий связи, поскольку на одной паре проводов при помощи методов многократного использования линий связи может быть получено несколько каналов. Под термином канал связи мы подразумеваем совокупность электрических контуров, соединяющих передающий аппарат с приемным. Каналы, соединяющие между собой несколько различных пар соответствующих аппаратов, считаются отдельными, хотя бы в состав их входили общие элементы (см. Международный электротехнический словарь).

² Для переключающих устройств, применяемых в телеуправлении, не установилось еще единообразного наименования. Их называют распределителями (от английского слова distributor), избирателями (от английского слова selector и немецкого слова Wähler), искателями и т. д., связывая эти названия с определенными методами селекции, применяемыми в устройствах телеуправления. Вместе с тем функции, выполняемые переключателями при применении их в малоканальных устройствах телеуправления, всегда одни и те же: переключение индивидуальных цепей в определенном порядке. Выбор соответствующих объектов производится при помощи специальных выбирающих схем, причем переключатель одной и той же конструкции может быть использован в различных схемах селекции, служа в одних случаях для целей распределения, а в других для целей комбинирования. Мы поэтому не будем присваивать переключающим устройствам каких-либо специальных терминов, считая, что термин «переключатель» лучше всего определяет те функции, которые приходится выполнять этим устройствам при применении их для телеуправления. Исключение мы будем делать только для устройств телеуправления, осуществляющих телефонную аппаратуру. Для того чтобы оттенить конструктивные особенности применяемых здесь переключателей, мы будем называть их, так же как и в телефонии, искателями.

поочередное соединение посылающих элементов в передающем пункте с соответствующими выбирающими или исполнительными реле в пункте приема (фиг. 118). Эти переключатели могут быть выполнены, например, в виде щеток, скользящих по контактам, расположенным по кругу. Щетки переключателей соединяются друг с другом линейным проводом, а к контактам присоединяются сигнальные цепи, т. е. в передающем пункте посылающие элементы (например, сигнальные контакты контролируемых объектов), а в приемном соответствующие исполнительные реле. Если щетки переключателей приводят в движение так, чтобы они одновременно переходили с одного контакта на другой (т. е. двигались бы синфазно друг с другом), то при прохождении мимо контакта 1 они соединят посылающий элемент № 1 передающего пункта с его исполнительным реле в пункте приема. При прохождении щеток мимо второго контакта такое соединение получает второй посылающий элемент и второе исполнительное реле и т. д.



Фиг. 118. Принципиальная схема малоканального устройства.

I и II — переключатели; K1 — K10 — управляющие ключи; 1 — 10 — исполнительные реле.

В малоканальных устройствах телеуправления число каналов связи не зависит от числа контролируемых объектов, оставаясь постоянным для любого числа последних. При изменении числа объектов изменяется только число импульсов, передаваемых по каналу связи, и число переключений, которые должны произвести переключатели за один цикл работы устройства.

С точки зрения конструктивного выполнения переключателей малоканальные устройства телеуправления можно подразделить на следующие группы:

- а) устройства с моторными переключателями;
- б) устройства с переключателями шагового типа;
- в) устройства с релейными переключателями.

В первых переключатели приводятся в действие маленькими моторчиками постоянного тока, наподобие того, как это делается в быстродействующих телеграфных аппаратах. Во вторых используются шаговые искатели автоматической телефонии. Наконец, в третьих переключение осуществляется при помощи специальных релейных схем.

По характеру работы переключателей малоканальные устройства телеуправления разделяются на:

- а) устройства с непрерывно вращающимися переключателями;

б) устройства с переключателями, пускаемыми в ход только при передаче сигналов.

Непрерывно вращающиеся переключатели применялись в самых ранних типах устройств телеуправления и в дальнейшем были оставлены. Это объясняется тем, что непрерывное вращение переключателей в течение круглых суток является по самому существу работы устройств телеуправления излишним, так как работа их нужна только периодически. В то же время непрерывная работа переключателей вызывает сильный их износ и быстрое понижение надежности действия. Поэтому во всех современных типах устройств телеуправления применяются переключатели, пускаемые в ход только при передаче сигналов.

С точки зрения используемых методов селекции устройства телеуправления можно разделить на три группы:

- а) распределительные¹;
- б) комбинационные или кодовые;
- в) смешанные.

Эти методы применяются одинаково как в многоканальных, так и в малоканальных устройствах, причем все числовые зависимости остаются одинаковыми в обоих этих типах устройств с той разницей, что для первого типа они относятся к количеству каналов связи, а для второго — к количеству импульсов, посылаемых по одному каналу связи. В дальнейшем мы будем вести все наши рассуждения применительно к многоканальным устройствам, учитывая, что все полученные выводы распространяются и на малоканальные устройства.

В устройствах телеуправления, применяющих методы распределительной селекции, для передачи каждого отдельного сигнала или группы сигналов для определенного объекта используется отдельный канал связи (в малоканальных устройствах отдельный импульс). Поэтому необходимое количество каналов связи зависит от числа контролируемых объектов, составляя целое или дробное число на каждый объект.

По одному каналу связи одновременно можно образовать только одну цепь тока. Поэтому при помощи включения и выключения канала связи можно передать только один сигнал (отсутствие тока как состояние канала связи в распределительных устройствах телеуправления обычно не используется). Таким образом для передачи сигналов в распределительных устройствах телеуправления нужно иметь $n = N$ каналов связи (в малоканальных устройствах $s = N$ импульсов тока).

В комбинационных устройствах телеуправления посылка сигналов производится путем включения каналов связи (или посылки импульсов в малоканальных устройствах) в определенной комбинации для каждого передаваемого сигнала. Так, например, в схеме, показанной на фиг. 117, посылку одного сигнала можно производить, включая каналы связи № 1 и 2, для второго сигнала можно включить каналы № 1 и 3, для третьего — каналы № 1 и 4 и т. д.

¹ В многоканальных устройствах телеуправления, использующих проводные линии связи, при отсутствии многократного использования последних распределительные устройства называются обычно кабельными.

Выбор объекта в пункте приема определяется включением имеющихся там реле в определенной комбинации в соответствии с комбинацией включенных каналов связи (или комбинацией посланных импульсов в малоканальных устройствах).

Если имеется n каналов связи, то, включая их по различному, можно получить следующее число комбинаций (сочетаний): при включении каналов связи по одному

$$C_n^1 = n,$$

при включении каналов связи по два

$$C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2!},$$

при включении каналов связи по три

$$C_n^3 = \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}$$

и т. д.

Сумма всех возможных комбинаций будет равна

$$\sum_{i=1}^{i=n} C_n^i = n + \frac{n(n-1)}{2!} + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} + \dots + \frac{n(n-1) \dots [n-(m-1)]}{m!} + \dots + \frac{n(n-1) \dots [n-(n-2)]}{(n-2)!} + 1.$$

Эта сумма равна сумме коэффициентов в формуле разложения бинома Ньютона без первого члена. Действительно, если в формуле бинома Ньютона:

$$(x+a)^n = x^n + nax^{n-1} + \frac{n(n-1)}{2!} a^2 x^{n-2} + \dots + \frac{n(n-1) \dots [n-(m-1)]}{m!} a^m x^{n-m} + \dots + a^n$$

положить

$$a = x = 1,$$

то получим

$$2^n = 1 + n + \frac{n(n-1)}{2!} + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} + \dots + \frac{n(n-1) \dots [n-(m-1)]}{m!} + \dots + 1,$$

откуда

$$\sum_{i=1}^{i=n} C_n^i = n + \frac{n(n-1)}{2!} + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} + \dots + \frac{n(n-1) \dots [n-(m-1)]}{m!} + \dots + 1 = 2^n - 1.$$

Коэффициент первого члена бинома Ньютона выпадает в выражении для суммы возможных комбинаций потому, что одна из комбинаций, а именно выключенное состояние всех каналов связи, не используется.

Число каналов связи или число импульсов, которое необходимо для передачи N сигналов, определяется в комбинационных устройствах телеуправления следующим выражением:

$$n = \frac{\lg(N+1)}{\lg 2}.$$

Таким образом число каналов связи здесь получается значительно меньшим, чем в распределительных устройствах телеуправления. Однако за этот счет пропадает возможность одновременной посылки нескольких сигналов, поскольку имеющиеся каналы связи (или импульсы, передаваемые за один цикл работы переключателя в малоканальных устройствах) используются каждый раз при передаче сигнала для образования соответствующей комбинации одновременно.

К комбинационным устройствам принадлежат также устройства с групповым выбором.

Выбор объекта осуществляется здесь в несколько приемов: сначала выбирается группа, к которой принадлежит данный объект, а затем уже в этой группе производится выбор самого объекта. Например, при помощи десяти каналов связи на схеме фиг. 117 можно производить выбор 25 объектов. Для этого нужно разделить наличные каналы связи на две части и по первым пяти каналам производить выбор одной из пяти групп объектов, а при помощи вторых пяти каналов производить выбор одного из пяти объектов в выбранной группе. Наиболее употребительным является декадный выбор, при котором объекты разбиваются на группы по десять. Легко видеть, что в этом случае порядковые номера включаемых каналов связи (или импульсов в малоканальных устройствах телеуправления) в различных ступенях выбора определяются порядковым номером сигнала. Например, для выбора сигнала № 685 нужно, очевидно, включить 6-й канал связи в первой ступени выбора, выбирающей сотни, 8-й канал связи во второй ступени выбора, выбирающей десятки, и 5-й канал связи в третьей ступени выбора, выбирающей единицы.

Число каналов связи в устройствах телеуправления с групповым выбором, необходимое для передачи N сигналов при одинаковом числе единиц каждой группы во всех ступенях выбора, определяется следующим выражением:

$$n = a \cdot b,$$

где a — число единиц в группе;

b — число ступеней выбора.

Число сигналов, которое можно передать по n каналам связи при тех же условиях, что и выше, определяется выражением

$$N = a^b.$$

Выражая n через N , получим

$$n = a \frac{\lg N}{\lg a}.$$

Устройства с групповым выбором являются частным случаем устройств комбинационного типа и отличаются от последних тем, что

В них используется только часть возможных комбинаций. Действительно, если проанализировать рассмотренный выше случай группового выбора по пяти объектов в группе (фиг. 117), то легко убедиться, что при таком выборе можно комбинировать только каналы связи различных ступеней выбора; комбинирование же, например, двух соседних каналов связи в одной группе невозможно. В комбинационных устройствах, наоборот, возможно комбинирование любых каналов связи, в соответствии с чем число комбинаций в этих устройствах получается значительно большим, а необходимое число каналов связи меньшим.

Наименьшее возможное число объектов в группе получается при разбивке их по два (дуальный выбор). В этом случае написанное выше выражение для числа каналов связи приобретает вид:

$$n = 2 \frac{\lg N}{\lg 2}.$$

При использовании для выбора как включенного, так и выключенного состояния канала связи, как это делается в комбинационных устройствах телеуправления, число каналов связи может быть уменьшено вдвое. Если учесть, что одна из комбинаций, а именно выключенное состояние всех каналов связи, не может быть использована, то написанное выше выражение для числа каналов в устройствах с дуальным выбором преобразуется следующим образом:

$$n = \frac{2}{2} \frac{\lg (N + 1)}{\lg 2} = \frac{\lg (N + 1)}{\lg 2},$$

т. е. превратится в выведенное выше выражение для комбинационных устройств.

Количество каналов связи или количество импульсов в распределительных и комбинационных устройствах телеуправления можно уменьшить, применяя методы селекции, использующие токи различного качества: различной полярности, различной длины, различной амплитуды, различной частоты и т. д. Если включить на приемном конце канала группу реле, из которых каждое реагирует на ток определенного качества, то, передавая токи различного качества, можно по одному и тому же каналу связи осуществлять передачу нескольких сигналов. Чаще всего применяется передача токами различной полярности или продолжительности, так как прием их может осуществляться при помощи обычных электромагнитных реле. Посылка токов различной амплитуды возможна только при определенных соотношениях между сопротивлением канала связи и сопротивлением приемных реле, о чем будет подробно сказано ниже.

Посылка токов различной частоты требует применения специальных фильтрующих устройств или специальных частотных реле сложной конструкции и используется реже.

Количество каналов связи при передаче токами различного качества определяется, исходя из следующих соображений:

В устройствах телеуправления распределительного типа при передаче токами, имеющими z качеств, можно осуществлять передачу z

сигналов по каждому каналу связи. Поэтому число каналов связи, необходимое для передачи N сигналов, будет определяться выражением

$$n = \frac{N}{z}.$$

В комбинационных устройствах передача импульсами различного качества увеличивает число комбинаций. При z качествах тока и n каналах связи можно получить следующее число комбинаций:

При включении каналов связи по одному количество комбинаций каналов связи $C_n^1 = n$ и количество комбинаций качеств тока на каждом канале связи z .

Общее число комбинаций

$$\sum_{k=1}^{k=z} C_n^k = n \cdot z.$$

При включении каналов связи по два количество комбинаций каналов связи $C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2!}$ и количество комбинаций качеств тока в каждой из комбинаций двух каналов равно z^2 .

При включении каналов связи по три количество комбинаций каналов связи $C_n^3 = \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}$ и количество комбинаций качеств тока в каждой из комбинаций двух каналов равно z^3 и т. д.

Общее число комбинаций определится выражением

$$\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{k=1}^{k=z} C_n^{ik} = nz + \frac{n(n-1)}{2!} z^2 + \dots + \\ + \frac{n(n-1) \dots [n(m-1)]}{m!} z^m + \dots + z^n.$$

Сравнивая это выражение с формулой разложения бинома Ньютона, легко показать, что

$$N = \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{k=1}^{k=z} C_n^{ik} = (1+z)^n - 1.$$

Отсюда легко получить выражение для числа каналов связи

$$n = \frac{\lg(N+1)}{\lg(z+1)}.$$

31. Способы защиты от неправильной передачи сигналов

Наиболее важным из перечисленных в разделе 29-м требований к устройствам телеуправления является требование невозможности передачи неправильных сигналов. Для защиты от неправильной передачи сигналов в устройствах телеуправления применяются специальные приспособления, которые контролируют работу устройства и правильность передачи сигналов, прекращая эту передачу в случае повреждения устройства телеуправления или его неправильной работы.

Неправильная передача сигналов может быть вызвана или нарушениями в работе самого устройства или же мешающими воздействиями на него извне.

Нарушения в работе устройства могут иметь место вследствие повреждения реле, загрязнения контактов, нарушения синфазности движения щеток переключателей и т. п.

Внешние воздействия на устройства телеуправления заключаются в большинстве случаев в искажении сигналов при передаче их по линиям связи. Это искажение может быть вызвано появлением на линии связи посторонних импульсов вследствие атмосферных воздействий или влияний соседних линий электропередач высокого напряжения, а также пропажей части импульсов при их передаче вследствие кратковременных замыканий в линии, больших утечек и т. п.

Необходимая степень защиты определяется принципом действия устройства.

Наименьшей защиты требуют многоканальные устройства распределительного типа. В этих устройствах повреждение реле, загрязнение контактов, обрыв линии связи и т. п. могут иметь следствием максимум отказ в передаче сигналов. Поэтому здесь необходимо применять лишь защиту от внешних воздействий на линии связи, при которых имеется опасность самопроизвольного срабатывания реле. Эта защита относится, однако, скорее к линиям связи, чем к самим устройствам телеуправления.

В многоканальных устройствах комбинационного типа несрабатывание одного из выбирающих реле вследствие повреждения, загрязнения контактов, обрыва линии связи и т. п. вызывает изменение передаваемой комбинации и неправильный выбор. Поэтому в этих устройствах должны быть предусмотрены специальные меры защиты от неправильной передачи.

Основным условием правильной работы малоканальных устройств телеуправления является обеспечение надежного синфазного движения щеток их переключателей. При нарушении синфазности движения друг с другом будут соединяться различные контакты переключающих устройств и, например, сигнал от объекта № 1 может попасть на сигнальное реле № 2 или команда для объекта № 2 может попасть на исполнительное реле № 1 или № 3.

В малоканальных устройствах распределительного типа для обеспечения правильной передачи достаточно обеспечить синфазность движения щеток переключателей, так как несрабатывание исполнительных реле в этих устройствах, так же как и в многоканальных устройствах, может вызвать (за некоторыми исключениями) максимум отказ в передаче сигнала.

В малоканальных устройствах комбинационного типа помимо обеспечения синфазности движения щеток переключателей необходимо применять меры также и для предупреждения неправильного выбора при искажении передаваемой комбинации вследствие несрабатывания какого-либо из выбирающих реле, пропажи или возникновения импульсов при передаче по линии связи и т. п.

Для обеспечения синфазности движения переключающих устройств применяются три способа.

В системах с непрерывным движением переключателей применяют специальные центробежные регуляторы, поддерживающие с большой точностью постоянство их числа оборотов. Синфазность движения переключателей проверяется один или несколько раз в течение каждого оборота при помощи специальных реле. При нарушении синфазного движения эти реле задерживают переключатель, ушедший вперед, притормаживая его до тех пор, пока отставший переключатель не догонит его (метод старт-стоп).

В устройствах с переключателями, приходящими в действие только при передаче сигналов, проверка синфазности их осуществляется обычно на каждом контакте перед передачей соответствующего сигнала. Эта проверка осуществляется обычно при помощи разбивки контактов переключателей на четные и нечетные путем придания этим контактам каких-либо определенных признаков (например, различной полярности) и сравнение этих признаков друг с другом при переходе щеток переключателей с одного контакта на другой.

В некоторых типах устройств телеуправления применяется другой способ проверки синхронизма на каждом контакте. В этих устройствах переключатели устроены так, что один из них, сделав один шаг, не может двинуться дальше до тех пор, пока другой также не сделает этого шага.

Для проверки правильности передачи применяют следующие мероприятия:

а) Посылка комбинаций (кодов), которые состоят всегда из одного и того же числа импульсов. Проверка правильности передачи импульсов достигается тем, что приемная часть устройства телеуправления, воспринимающая импульсы и производящая выбор объектов, осуществляет операцию управления или обратную сигнализацию только в том случае, если количество воспринятых ею импульсов соответствует установленному числу. В случае если это количество больше (возникновения на линии лишнего импульса) или меньше (пропажа одного импульса во время передачи или повреждение в передающей или приемной части), приемная часть не производит операции, соответствующей посланному коду, а дает отбойный импульс, при котором передающая и приемная части возвращаются в нулевое положение, и передача начинается вновь.

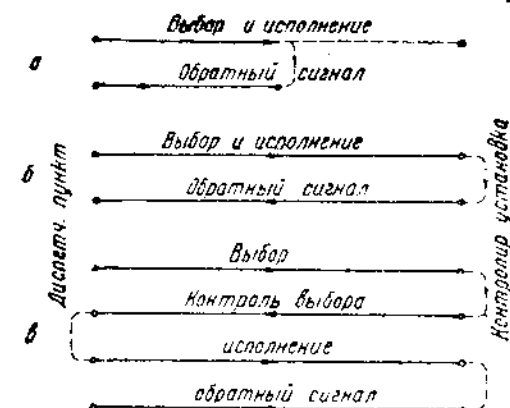
Такой способ защиты носит название *комплементарной защиты* (защита по сумме импульсов).

б) Посылка обратной контрольной серии импульсов. В этом способе по осуществлении выбора аппарата на контролируемой установке согласно полученной комбинации импульсов приемная часть посылает обратно передающей части контрольную комбинацию. В передающей части полученная контрольная комбинация автоматически сравнивается с посланной и, если они соответствуют друг другу, посылается импульс управления. В противном случае посылается отбойный импульс, приемная и передающая части возвращаются в нулевое положение, и передача начинается снова.

с) Импульсы, из которых составляется каждая из серий, передаются двойными. Наличие импульса передается наличием тока и затем паузой. Отсутствие импульса передается, наоборот, сначала паузой, а затем наличием тока (фиг. 120). Каждый импульс воспринимается на контролируемой установке двойными реле, которые образуют своими контактами контрольную цепь. Эти контакты включены так, что они замыкают контрольную цепь и разрешают исполнение переданного сигнала только при указанной последовательности импульсов и пауз. При возникновении на линии лишнего импульса или пропаже одного из переданных импульсов к приемной части будут переданы

или два импульса под ряд, или же две паузы под ряд. И в том и в другом случае, как это можно видеть из фиг. 120, контрольная цепь останется разомкнутой и искаженный импульс воспринят не будет.

Способы проверки правильности передачи могут быть применены и в распределительных системах для проверки синфазности движения переключателей. Для этой цели можно, например, применить способ комплементарной защиты или способ посылки контрольных импульсов. В этом случае проверка правильности движения переключающих устройств осуществляется только в конце процесса пере-



Фиг. 119. Порядок передачи при различных способах защиты от неправильных сигналов.

а — проверка синхронизма; б — комплементарная защита; в — посылка контрольной серии импульсов.

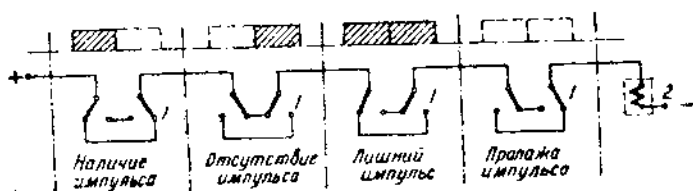
дачи. Если оба переключателя пришли на конечный контакт одновременно, то значит движение их происходило синфазно и передача сигнала была произведена правильно. Число импульсов, полученных приемной частью устройства, будет при этом равно определенной величине, соответствующей числу контактов переключателей. Специальные реле, действующие так же, как и при комплементарной защите, в этом случае разрешают исполнение сигнала.

Если переключатели во время передачи двигались несинфазно, то они придут на конечный контакт не одновременно. Количество импульсов, полученных приемной частью, будет в этом случае меньше или больше количества импульсов, получающегося при правильной работе переключающих устройств. Реле комплементарной защиты запретят исполнение полученного сигнала и заставят повториться передачу сигнала вновь.

Описанные выше способы защиты от неправильной передачи сигналов, являясь более или менее равноценными с точки зрения надежности, неравноценны с точки зрения затраты времени для передачи сигнала и количества потребных каналов связи.

В малоканальных устройствах телеуправления передача сигнала осуществляется наиболее быстро в устройствах телеуправления распределительного типа с проверкой синфазности на каждом контакте. Так как сигнал может быть передан здесь только в случае синфазного движения переключателей, то исполнение его может происходить сейчас же вслед за получением, причем обратная сигнализация может быть произведена сейчас же после исполнения сигнала. Благодаря этому передача управляющего сигнала и получение обратного сигнала об исполнении могут быть осуществлены за один цикл работы переключателей (фиг. 119,а).

При комплементарной защите исполнение сигнала может быть произведено только после окончания цикла передачи полностью. Поэтому для посылки обратного сигнала необходим второй цикл работы устройства (фиг. 119,б), в связи с чем общее время передачи минимум удваивается.



Фиг. 120. Схема контрольной цепи при посылке двойных импульсов.

1 — контакты контрольной цепи; 2 — исполнительное реле.

В устройствах комбинационного типа этот способ защиты требует увеличения, кроме того, количества каналов связи или импульсов, так как при применении его приходится ограничиваться только частью комбинаций, применяя для всех комбинаций сочетания по какому-нибудь определенному числу.

Наконец, в случае посылки контрольной серии импульсов необходимо, как это можно видеть из фиг. 119,б, четыре цикла работы устройства телеуправления. Поэтому этот способ защиты от неправильной передачи сигналов требует принципиально наибольшего времени передачи.

Это сравнение способов защиты от неправильной передачи сигналов действительно, конечно, только при равных условиях работы устройств телеуправления и в первую очередь при одинаковом времени, необходимом для передачи каждого импульса и одинаковом числе импульсов, переданных за один цикл работы устройства. В действительности время передачи импульса в устройствах телеуправления различных фирм бывает различным, и в некоторых случаях время передачи сигнала в устройствах с проверкой синхронизма на каждом контакте получается большим, чем в устройствах с защитой от неправильной передачи сигналов при помощи посылки контрольной серии импульсов или комплементарной защитой.

32. Аппаратура и обозначения

В современных устройствах телеуправления применяется наиболее часто аппаратура автоматических телефонных станций. В настоящем разделе мы поэтому ограничимся описанием только этого типа аппаратуры. Описание аппаратуры специального типа, применяемой в некоторых устройствах, будет приводиться попутно с описанием принципа действия этих устройств.

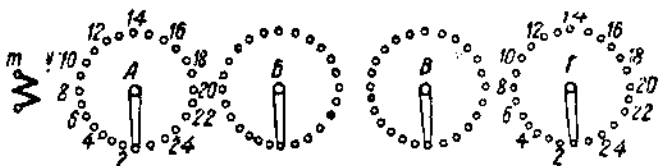
Переключателями в большинстве современных устройств телеуправления служат шаговые искатели автоматических телефонных станций.

Обычный телефонный шаговый искатель представляет собой контактное устройство с несколькими рядами контактов, по которым под воздействием храпового механизма, приводимого в движение электромагнитом, скользят щетки. Передвижение щеток происходит скачками при каждом притяжении и отпуске якоря электромагнита, почему эти искатели и называются шаговыми. По принципу дви-



Фиг. 121. Щетки искателя круглого типа.

жения щеток искатели разделяются на два типа: с прямым и обратным действием. Первые перемещают свои щетки при притяжении якоря электромагнита, а вторые производят это перемещение при отпуске якоря.



Фиг. 122. Электрическая схема искателя круглого типа.

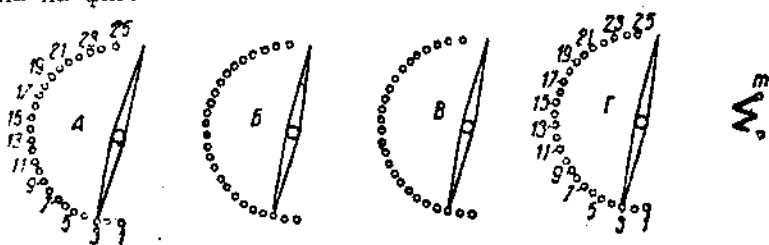
А, Б, В и Г — контактные ряды искателя; 1—25 — контакты; *m* — электромагнит искателя.

В конструктивном отношении различают искатели круглого и полукруглого типа.

Искатель круглого типа представляет собой цилиндр из изолирующего материала, в котором впрессованы четыре ряда контактов и четыре сплошных металлических кольца. С внутренней поверхности цилиндра по контактам и кольцам скользят четыре щетки, насаженные на общую ось (фиг. 121). При притяжении и отпуске якоря электромагнита щетки искателя переходят с одного контакта на другой, соединяя последовательно контакты каждого контактного ряда с принадлежащим ему сплошным кольцом. Передвижение щеток осуществляется при отпуске якоря. Электрическая схема искателя этого типа приведена на фиг. 122.

Телефонный искатель полукруглого типа представляет собой полукруглый цилиндр из изолирующего материала, в который, так же как и в ис-

кателе круглого типа, впрессовано несколько рядов контактов. По этим контактам под воздействием храпового механизма электромагнита передвигаются щетки. Контакты применяются ножевого типа, а щетки — рубящего типа, что обеспечивает более надежный контакт. Щетки в искателях полукруглого типа выполняются двухсторонними, благодаря чему движение щеток может происходить все время в одном и том же направлении: при достижении одной половиной щеток крайнего контакта полуцилиндра другая половина их входит в соприкосновение с первым контактом полуцилиндра с другого конца его. Съем тока со щеток производится при помощи скользящих контактов, расположенных около оси щеток. Электрическая схема полукруглого искателя приведена на фиг. 123.



Фиг. 123. Электрическая схема полукруглого искателя.

А, Б, В и Г — контактные ряды искателя; 1—25 — контакты; м — электромагнит искателя.

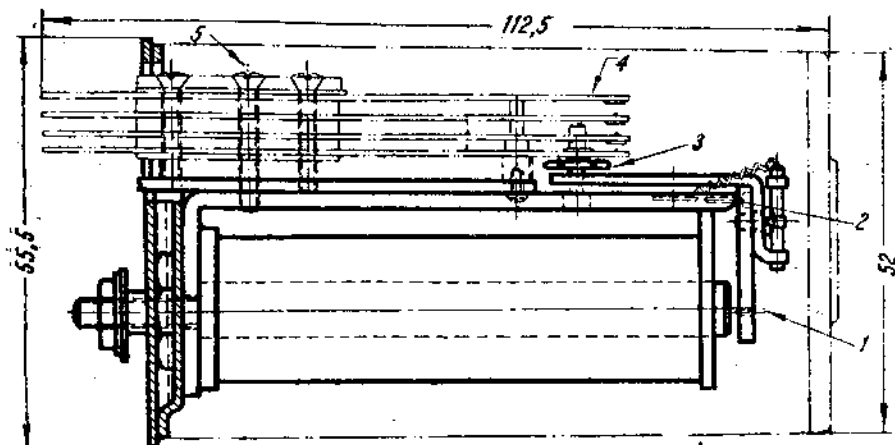
Количество контактов в искателях составляет обычно от 25 до 100. Количество контактных рядов от 3 до 5. Скорость движения щеток искателей от 20 до 100 шагов в секунду. В настоящее время искатели полукруглого типа изготавливаются только за границей. В СССР производством их ставится на заводе «Красная заря». Выпускаемый в настоящее время заводом «Красная заря» круглый искатель типа ОЛ имеет четыре контактных ряда по 25 контактов и скорость движения 15—18 шагов в секунду. Новый искатель завода «Красная заря» полукруглого типа будет иметь 50 и 100 контактов в ряду и скорость движения до 90 шагов в секунду.

В качестве реле в устройствах телеуправления употребляются в большинстве случаев телефонные реле.

Телефонные реле, изготавливаемые в СССР заводом «Красная заря», представляют собой обычные электромагнитные реле с тарелочным якорем и плоскими нажимными контактами (фиг. 124). Якорь 1 перемещается на двух штифтах, помещенных в верхней части корпуса 2, нажимая при своем перемещении шестигранными упорами 3, имеющимися в верхней части его, на контактные пружины 4. Контактные пружины 4 прикрепляются к корпусу винтами 5 и могут быть набраны в любых комбинациях в количестве до шести контактов на реле. Размеры реле: 112,5 × 55,5 × 39 мм.

Мощность, разрываемая контактами реле, составляет около 20—25 W (при индуктивной нагрузке около 6 W). Внешний вид телефонного реле изображен на фиг. 125.

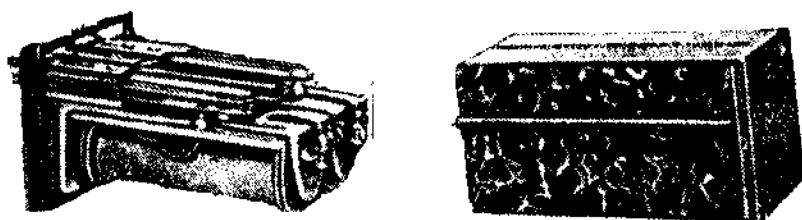
В некоторых устройствах телеуправления применяются реле более солидной конструкции, употребляемые в схемах железнодорожной сигнализации, централизации и блокировки. Эти реле, получившие название «кодовых» реле, изготавливаются в СССР заводом им. Козиц-



Фиг. 124. Телефонное реле завода «Красная заря».

7 — якорь; 2 — корпус; 3 — шестигранные упоры; 4 — контактные пружины; 5 — винты для крепления пружин.

кого. Они представляют собой также электромагнитные реле с тарелочным якорем и плоскими нажимными контактами и отличаются от телефонных реле большим ходом якоря, большими размерами, большим числом контактов (на одном реле можно разместить до 15 контактов) и несколько другой конструкцией якоря и пружин. Размеры реле:



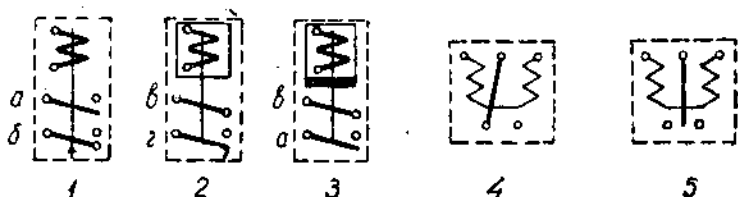
Фиг. 125. Двойное телефонное реле завода «Красная заря».

длина от 110 до 135 мм, ширина от 32 до 54 мм и высота от 72 до 75 мм в зависимости от расположения и числа контактов. Мощность, размыкаемая контактами, около 60 Вт при омической нагрузке.

Контактное давление в телефонных и кодовых реле составляет 25—30 г. Пружины контактов выполняются как в тех, так и в других реле из нейзильбера. Контакты реле выполнены из серебра. Кодовое реле имеет по два кругло-плоских контакта на каждой пружине. Телефонные реле имеют один остро-плоский контакт.

Кодовые реле вследствие большого хода якоря и двойного соприкосновения имеют по сравнению с телефонными несколько более надежные контакты. Однако вместе с этим они имеют большие размеры, большее потребление тока и большую стоимость.

Помимо простых электромагнитных реле в устройствах телеуправления часто применяются реле с замедлением на выключение. Для получения замедления в большинстве случаев применяются реле с медной гильзой, надстой на сердечник реле. При выключении тока исчезающий магнитный поток наводит в медной гильзе токи Фуко, которые дают дополнительный момент, поддерживающий некоторое время якорь реле в притянутом состоянии. В дальнейшем при рассмотрении схем телеуправления мы будем рисовать обмотки реле с медной гильзой заключенными в прямоугольник (фиг. 126). Для замедления реле помимо медной гильзы применяют также включение параллельно обмотке реле сопротивления, конденсатора или купроксного выпрямителя.



Фиг. 126. Обозначения реле.

1 — простое электромагнитное реле; 2 — замедленное электромагнитное реле; 3 — сильно замедленное электромагнитное реле; 4 — поляризованное реле без нейтрального положения (двухпозиционное); 5 — поляризованное реле с нейтральным положением; а — рабочий контакт (замыкающийся при притяжении якоря реле); б — переключающийся контакт с замедлением на включение; в — спокойный контакт (замкнутый при отпущенном якоря); з — проскакивающий контакт (замыкающийся во время перехода реле из одного положения в другое).

В некоторых устройствах телеуправления применяются специальные реле, в которых только часть контактов делается с замедлением. В большинстве случаев это применяется для контактов с замедлением на включение, причем это замедление получается за счет применения различных механических приспособлений (демпферов, мостиков и т. п.). В дальнейшем мы такие контакты будем обозначать стрелкой, направление острия которой будет указывать направление замедления (фиг. 126).

Телефонные и кодовые реле могут иметь самые разнообразные контакты. Заводы, изготавливающие эти реле, имеют 20—25 стандартных типов контактов. В реле, применяющихся в устройствах телеуправления, употребляются преимущественно следующие контакты:

а) Контакт, разомкнутый при отпущенном якоря реле и замыкающийся при притяжении якоря (см. контакт а на фиг. 126). Этот контакт мы будем называть в дальнейшем «р а б о ч и м» контактом.

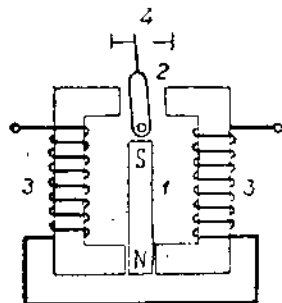
б) Контакт, замкнутый при отпущенном якоря реле и размыкающийся при притянутом якоря (в на фиг. 126). Этот контакт мы будем называть «с п о к о й н ы м» контактом.

в) Контакт, переключающийся при притяжении якоря реле (б на фиг. 126). Этот контакт мы будем называть «п е р е к л ю ч а ю щ и м с я» контактом.

г) Контакт, замыкающийся только на время перехода якоря реле из отпущенного в притянутое состояние, и наоборот (г на фиг. 126).

Этот контакт мы будем называть «п р о с к а к и в а ю щ и м» контактом¹.

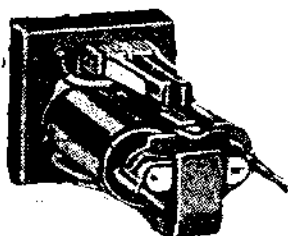
На схемах все контакты показываются в положении, соответствующем обесточенной катушке реле.



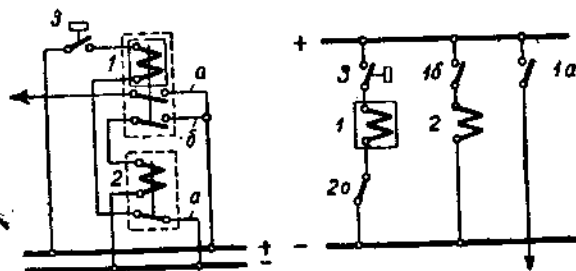
Фиг. 127. Схема поляризованного реле.

1 — постоянный магнит; 2 — якорь; 3 — катушки; 4 — контакты.

Помимо простых электромагнитных реле в устройствах телеуправления применяются также поляризованные реле. Эти реле реагируют на полярность протекающего через них тока. Якорь реле имеет два положения и занимает одно из них при протекании тока положительной полярности и другое при протекании тока отрицательной полярности. Это достигается тем, что якорь реле и его сердечники получают ток от постоянного магнита или электромагнита, имеющего постоянное питание (фиг. 127). Реле имеет сердечники 1 и 2 мягкого железа с катушками, намотанными в различных направлениях. В воздушном зазоре между сердечниками перемещается якорь 3, подмагничиваемый постоянным магнитом 4.



Фиг. 128. Индикаторное реле.



Фиг. 129. Схема пульс-пары.

При пропускании тока через катушки сердечники намагничиваются и притягивают якорь. Так как якорь имеет определенную полярность, то при пропускании тока одного направления он притягивается к одному из сердечников, при пропускании же тока другого направления — к другому сердечнику. При отсутствии тока якорь занимает или одно из своих крайних положений (двухпозиционное реле) или же переводится в среднее положение (трехпозиционное реле). Помимо опи-

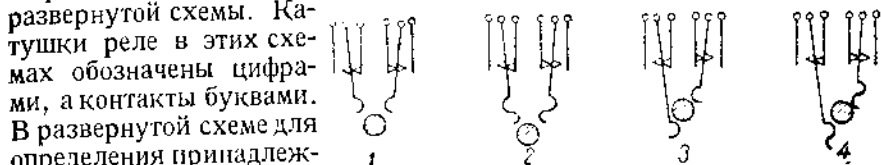
¹ В телефонных и кодовых реле для получения этого контакта используется так называемый «переходной» контакт.

санного существует еще целый ряд способов выполнения поляризованных реле, на которых мы не останавливаемся.

Внешний вид одной из конструкций поляризованного реле в выполнении фирмы Джeneralь Электрик К^о изображен на фиг. 128.

При рассмотрении схем устройств телеуправления мы будем применять помимо обычных схем еще и так называемые развернутые схемы, в которых контакты реле помещаются отдельно от катушек реле. При сложных схемах это значительно упрощает их начертание и рассмотрение. Для того чтобы познакомиться с принципами начертания развернутых схем, рассмотрим пример, изображенный на фиг. 129.

На этой фигуре изображена схема так называемой «пульс-пары», которая часто применяется в устройствах телеуправления. С левой стороны схема приведена в обычном начертании, а с правой — в виде развернутой схемы. Ка-



Фиг. 130. Обозначения кнопок и ключей.

1 — двухпозиционная кнопка или ключ без арретира; 2 — двухпозиционная кнопка или ключ с арретиром; 3 — трехпозиционный ключ без арретира; 4 — трехпозиционный ключ с арретиром.

тушки реле в этих схемах обозначены цифрами, а контакты буквами. В развернутой схеме для определения принадлежности контакта к тому или иному реле к буквенному обозначению контакта приписывается с левой стороны цифровое обозначение реле.

Действие реле пульс-пары происходит следующим образом:

При включении кнопки 3 замыкается цепь катушки реле 1, последнее притягивает свой якорь и замыкает контакты. При этом контактом б оно включает катушку реле 2, которое размыкает свой контакт а и разрывает цепь реле 1. Реле 1 выключается и размыкает свои контакты а и б. При этом оно разрывает цепь реле 2. Последнее отпускает, замыкая свой контакт а. Цепь реле 1 при этом оказывается снова замкнутой, и оно снова включает свои контакты, замыкая цепь реле 2. Реле 2 вторично включается и размыкает цепь реле 1 и т. д. В результате этого реле 1 и 2 поочередно включаются и выключаются, причем реле 1 замыкает и размыкает свой контакт а, включая и прерывая ток в соответствующей цепи (например, в цепи катушки искателя).

В заключении настоящего раздела рассмотрим типы и обозначения ключей и кнопок, применяющихся в устройствах телеуправления.

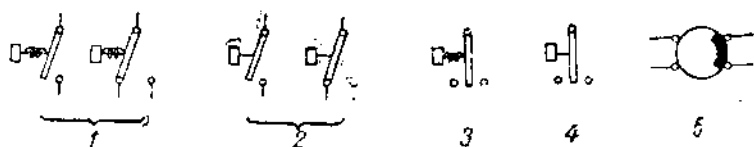
Кнопками, или кнопочными переключателями, мы будем называть в дальнейшем коммутационные устройства, которые переключают свои контакты при перемещении их рукояток вверх и вниз. Ключами, или рычажными переключателями, мы будем называть коммутационные устройства, переключающие свои контакты при вращении их рукояток или при перемещении их в ту или другую сторону.

По своему действию кнопки и ключи разделяются на кнопки и ключи с арретиром и без арретира. Первыми называются кнопки и

ключи, которые при воздействии на них остаются в переключенном состоянии в течение неопределенно долгого времени; вторыми называются кнопки и ключи, возвращающиеся в свое первоначальное положение сейчас же после того, как их рукоятка будет отпущена.

Для обозначения ключей и кнопок мы примем изображения, приведенные на фиг. 130.

При раздельном обозначении контактов кнопок и ключей мы будем



Фиг. 131. Обозначения контактов.

1 — двухпозиционная кнопка или ключ без арретира; 2 — двухпозиционная кнопка или ключ с арретиром; 3 — трехпозиционный ключ без арретира; 4 — трехпозиционный ключ с арретиром; 5 — сигнальный контакт масляного выключателя.

прибегать к обозначению их, указанному на фиг. 131. В схемах мы будем обозначать кнопки и ключи цифрами с прибавлением к ним буквы *К*, а контакты кнопок и ключей, так же как и контакты реле, буквами.

ГЛАВА IX

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ

33. Устройства телеуправления распределительного типа (Кабельные устройства)

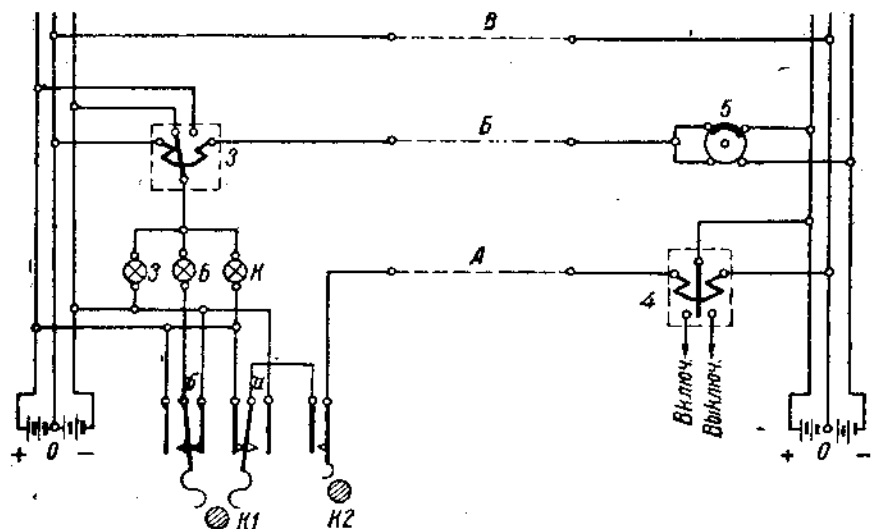
Как уже указывалось во втором разделе, количество сигналов, передаваемых от каждого объекта, составляет максимум четыре. Из этого количества два сигнала должны передаваться в одну сторону и два в другую.

Для передачи этого количества сигналов методами дистанционного управления нормально нужно четыре провода. Для уменьшения количества проводов в кабельных устройствах телеуправления применяется передача различными качествами тока. Существуют устройства телеуправления, в которых передача производится двумя качествами тока и количество проводов сокращено до двух проводов на каждый объект, и устройства телеуправления, в которых передача осуществляется четырьмя качествами тока и в которых нужен только один провод на объект. Устройства телеуправления первого типа называются *двухпроводными*, а устройства телеуправления второго типа *однопроводными*. Рассмотрим принципы действия этих устройств.

а) Двухпроводное устройство телеуправления фирмы Джeneralъ Электрик К^о. Принципиальная схема устройства изображена на фиг. 132. Передача сигналов осуществляется токами различной полярности.

Для питания устройства телеуправления применяются аккумуляторные батареи с выведенной средней точкой. Для соединения средних точек этих батарей служит общий обратный провод *В*.

В диспетчерском пункте каждый контролируемый масляный выключатель имеет квитирующий ключ *K1* с двумя переключающими контактами *а* и *б*, управляющий ключ *K2*, сигнальное реле *З* и три сигнальных лампочки: красная *К* для обозначения включенного положения



Фиг. 132. Принципиальная схема двухпроводной системы телеуправления кабельного типа фирмы Джeneral Электрик.

K1 — квитирующий ключ; *K2* — управляющий ключ; *З* — сигнальное реле; *4* — управляющее реле; *5* — сигнальные контакты; *А* — управляющий провод; *Б* — сигнальный провод; *В* — общий обратный провод; *К*, *З* и *5* — красная, зеленая и белая сигнальные лампочки.

масляного выключателя, зеленая *З* для обозначения выключенного положения масляного выключателя и белая *Б* для обозначения несоответствия. Красная и зеленая лампочки включаются сигнальным реле *З*, которое закорачивает своими контактами в зависимости от положения своего якоря то одну, то другую из них. Белая лампочка приключена с одной стороны к контактам сигнального реле *З*, а с другой стороны — к контактам *б* квитирующего ключа. При положении квитирующего ключа, соответствующем положению масляного выключателя, белая лампочка оказывается с обеих сторон приключенной к одному полюсу аккумуляторной батареи, при несоответствии же положения квитирующего ключа положению масляного выключателя она включается с обоих концов к разным полюсам аккумуляторной батареи и загорается.

Управление масляным выключателем и передача обратного сигнала осуществляются в описываемом устройстве следующим образом:

При желании переключить масляный выключатель диспетчер поворачивает квитирующий ключ *K1* в ту или другую сторону. При этом

ключ $K1$ своими контактами a соединяет управляющий ключ $K2$ с плюсом или минусом аккумуляторной батареи диспетчерского пункта, контактами же b включает белую лампочку B , изменяя полярность на одном из ее концов.

Горение белой лампочки указывает масляный выключатель, переключение которого предпринимается. Переключение масляного выключателя после воздействия на квитирующий ключ еще не совершается, так как управляющий провод остается разомкнутым на контактах управляющего ключа $K2$. Это сделано для того, чтобы диспетчер по горению белых лампочек мог проконтролировать правильность своих действий и затем уже нажатием на управляющий ключ осуществить предпринимаемые переключения.

При нажатии на управляющий ключ $K2$ он замыкает цепь управляющего поляризованного реле 4 на контролируемой установке. Это реле в зависимости от направления протекающего через него тока замыкает включающую или выключающую цепь масляного выключателя и осуществляет желаемое переключение его.

При переключении масляного выключателя его вспомогательные контакты 5 меняют полярность на конце сигнального провода B . В соответствии с этим сигнальное реле 3 в диспетчерском пункте изменяет свое положение и переключает свои контакты. При этом оно включает соответственно положению масляного выключателя красную или зеленую сигнальную лампочку и гасит белую лампочку, включая ее на тот же полюс аккумуляторной батареи, на которой она включена контактами b квитирующего ключа.

При автоматическом выключении масляного выключателя его вспомогательные контакты, меняя полярность на конце сигнального провода, заставляют сигнальное реле 3 изменить свое положение. Это реле, переключая свои контакты, включает соответствующую сигнальную лампочку и зажжет белую лампочку, изменив присоединенную к ней полярность. Горение белой лампочки укажет диспетчеру на изменение положения масляного выключателя и на необходимость изменения положения соответствующего квитирующего ключа.

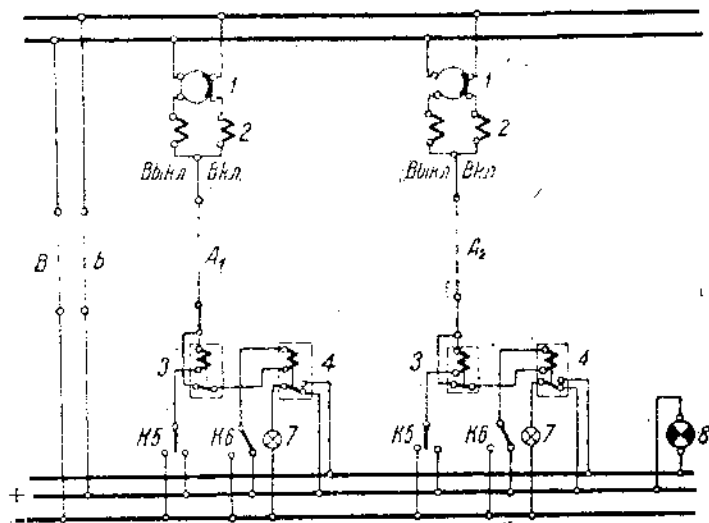
Помимо зрительных сигналов в диспетчерском пункте предусмотрен звуковой сигнал в виде звонка, включенного в цепь белых лампочек (на схеме фиг. 132 этот звонок не показан) и извещающего диспетчера о каждом изменении положения масляного выключателя контролируемой установки.

В однопроводных устройствах телеуправления провод сигнализации и провод управления совмещаются в одном проводе. Применяя две различных силы тока, воздействующие на реле различной чувствительности, и две различных полярности тока (четыре качества тока), можно четыре сигнала, необходимые для каждого объекта, передать по одному проводу.

Ниже приведено описание двух схем однопроводных устройств телеуправления: фирмы Сименс и фирмы АЕГ¹.

¹ Употребляются также и схемы, применяющие большее количество качеств тока. Одна из таких схем описана на стр. 244, в главе, посвященной кодовым устройствам телеуправления.

б) Однопроводное устройство телеуправления фирмы Сименс. Принципиальная схема устройства телеуправления фирмы Сименс приведена на фиг. 133. Вспомогательные контакты 1 масляных выключателей с управляющими катушками 2 и контакты квитирующих ключей К6 в диспетчерском пункте с сигнальными реле 4 присоединяют линию в зависимости от своего положения к различным или одноименным полюсам общего источника тока. (Для передачи напряжения этого источника тока из диспетчерского пункта на контролируемую установку необходимы два общих провода.)



Фиг. 133. Принципиальная схема однопроводного устройства телеуправления фирмы Сименс.

1 — сигнальные контакты масляного выключателя; 2 — управляющие катушки масляного выключателя; 3 — вспомогательное реле; 4 — сигнальное реле; К5 — управляющий ключ, К6 — квитирующий ключ; 7 — сигнальная лампочка; 8 — прерыватель.

Каждая из указанных на фиг. 133 линий обтекается током только в том случае, если контакты 1 и К6 по концам ее находятся в несоответствующих положениях, так как только в этом случае линия окажется включенной с обоих своих концов на разные полюса источника тока.

Таким образом наличие тока в линии служит показателем несоответствия положения контролируемого аппарата (его вспомогательных контактов 1) положению квитирующего ключа.

На схеме фиг. 133 положение контактов квитирующего ключа соответствует положению вспомогательных контактов масляного выключателя. Управляющая катушка масляного выключателя и сигнальное реле 4, включенные последовательно с линией, соединяющей диспетчерский пункт с контролируемой установкой, присоединены к одному и тому же полюсу и ток через них не протекает. При желании включить

масляный выключатель диспетчер поворачивает управляющий ключ *K5* влево. Этим он приключает управляющую катушку масляного выключателя и катушку вспомогательного реле 3 к различным полюсам источника тока. При прохождении тока через реле 3 оно своим контактом разрывает цепь сигнального реле 4, предупреждая этим преждевременное действие реле. При прохождении тока через управляющую катушку 2 она переключает масляный выключатель. При этом переключаются также сигнальные контакты 1, и линия с обоих концов вновь оказывается присоединенной к одному полюсу. Реле 3 отпускает свои контакты и замыкает цепь сигнального реле 4. Так как сигнальные контакты масляного выключателя изменили свое положение, то линия, управляющая катушка и катушка реле 4 снова окажутся включенными на различные полюса и через них потечет ток. Сопротивление реле 4 подобрано таким образом, что ток, протекающий в линии, достаточен только для того, чтобы действовало реле 4, и недостаточен для срабатывания реле 3 и управляющей катушки масляного выключателя.

Реле 4, срабатывая, переключит своими контактами сигнальную лампочку 7 со спокойного света на мигающий. Это укажет диспетчеру на изменение положения масляного выключателя, он переключит квитирующий ключ 6 и этим снова присоединит линию с управляющей катушкой и реле 3 и 4 к одному и тому же полюсу вспомогательного источника тока. Реле 4 отпустит свои контакты и переведет сигнальную лампочку с мигающего света на спокойный.

Схема однопроводного устройства телеуправления фирмы Сименс имеет тот недостаток, что питание всех сигнальных реле до момента квитирования сигналов происходит через общие провода *Б* и *В*. Эти провода имеют определенное сопротивление и поэтому при различном количестве сигнальных реле, находящихся под током, в проводах будет происходить различное падение напряжения. При большом количестве одновременно переданных сигналов это падение напряжения может оказаться недостаточным для уверенной работы сигнальных реле.

Чтобы обеспечить одновременную работу нескольких сигнальных реле, приходится увеличивать сечение общих проводов и, кроме того, рассчитывать сигнальные реле на большие колебания напряжения.

в) Однопроводное устройство телеуправления фирмы АЕГ. Этот недостаток избегнут в однопроводном устройстве телеуправления фирмы АЕГ путем применения специального типа сигнальных реле.

Принципиальная схема устройства АЕГ приведена на фиг. 134. Сигнальное реле 5 имеет две обмотки, якоря которых связаны друг с другом механически при помощи коромысла. Это коромысло застопоривается в своих крайних положениях специальным храповичком. При появлении тока в одной из катушек реле якорь этой катушки перемещает коромысло реле в свою сторону. При этом переключаются контакты реле и разрывают цепь катушки, обтекаемой током, подготавливая цепь другой катушки. Реле потребляет таким образом ток только в течение времени, необходимого для перемещения коромысла (доли секунды).

масляный выключатель диспетчер поворачивает управляющий ключ К5 влево. Этим он приключает управляющую катушку масляного выключателя и катушку вспомогательного реле 3 к различным полюсам источника тока. При прохождении тока через реле 3 оно своим контактом разрывает цепь сигнального реле 4, предупреждая этим преждевременное действие реле. При прохождении тока через управляющую катушку 2 она переключает масляный выключатель. При этом переключаются также сигнальные контакты 1, и линия с обоих концов вновь оказывается присоединенной к одному полюсу. Реле 3 отпускает свои контакты и замыкает цепь сигнального реле 4. Так как сигнальные контакты масляного выключателя изменили свое положение, то линия, управляющая катушка и катушка реле 4 снова окажутся включенными на различные полюса и через них потечет ток. Сопротивление реле 4 подобрано таким образом, что ток, протекающий в линии, достаточен только для того, чтобы подействовало реле 4, и недостаточен для срабатывания реле 3 и управляющей катушки масляного выключателя.

Реле 4, срабатывая, переключит своими контактами сигнальную лампочку 7 со спокойного света на мигающий. Это укажет диспетчеру на изменение положения масляного выключателя, он переключит квитирующий ключ 6 и этим снова присоединит линию с управляющей катушкой и реле 3 и 4 к одному и тому же полюсу вспомогательного источника тока. Реле 4 отпустит свои контакты и переведет сигнальную лампочку с мигающего света на спокойный.

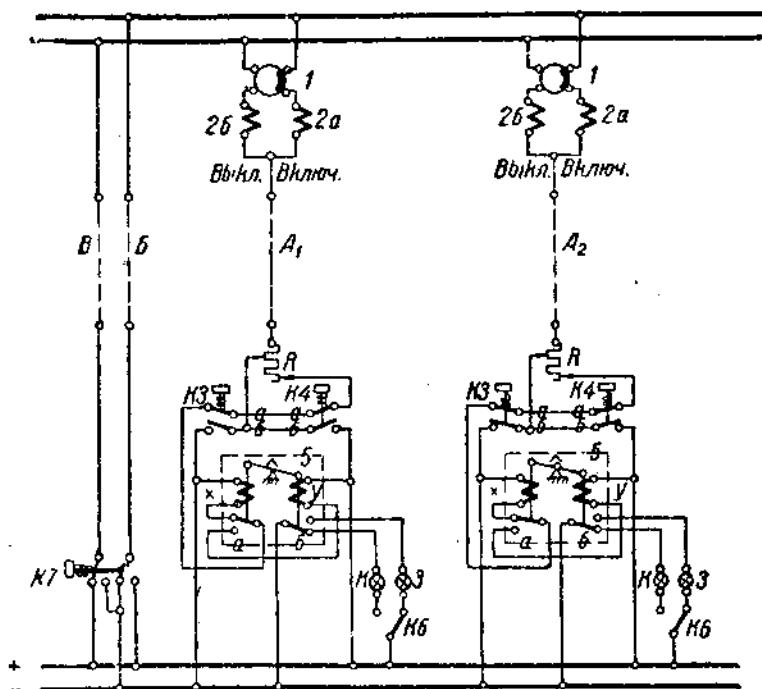
Схема однопроводного устройства телеуправления фирмы Сименс имеет тот недостаток, что питание всех сигнальных реле до момента квитирования сигналов происходит через общие провода Б и В. Эти провода имеют определенное сопротивление и поэтому при различном количестве сигнальных реле, находящихся под током, в проводах будет происходить различное падение напряжения. При большом количестве одновременно переданных сигналов это падение напряжения может оказаться недостаточным для уверенной работы сигнальных реле.

Чтобы обеспечить одновременную работу нескольких сигнальных реле, приходится увеличивать сечение общих проводов и, кроме того, рассчитывать сигнальные реле на большие колебания напряжения.

в) Однопроводное устройство телеуправления фирмы АЕГ. Этот недостаток избегнут в однопроводном устройстве телеуправления фирмы АЕГ путем применения специального типа сигнальных реле.

Принципиальная схема устройства АЕГ приведена на фиг. 134. Сигнальное реле 5 имеет две обмотки, якоря которых связаны друг с другом механически при помощи коромысла. Это коромысло застопоривается в своих крайних положениях специальным храповичком. При появлении тока в одной из катушек реле якорь этой катушки перемещает коромысло реле в свою сторону. При этом переключаются контакты реле и разрывают цепь катушки, обтекаемой током, подготавливая цепь другой катушки. Реле потребляет таким образом ток только в течение времени, необходимого для перемещения коромысла (доли секунды).

Сигнальные реле 5 имеют два контакта. Один из этих контактов *a* служит для переключения обмоток реле, другой же *б* включает в зависимости от своего положения красную или зеленую сигнальные лампочки. Эти лампочки служат, однако, только для указания несоответствия при получении обратного сигнала, нормально же цепь их выключена. Положение масляного выключателя сигнализируется в диспетчерском пункте положением рукоятки квитирующего ключа.



Фиг. 134. Принципиальная схема однопроводного устройства телеуправления фирмы АЕГ.

1 — сигнальные контакты масляного выключателя; 2 — управляющие кнопки; К3 и К4 — управляющие кнопки; 5 — сигнальное реле; К6 — квитирующий ключ; К7 — ключ проверки; К и 3 — красная и зеленая сигнальные лампочки.

Рассмотрим, каким образом производится переключение масляного выключателя и получение обратного сигнала.

Предположим, что масляный выключатель выключен и диспетчер желает его включить. Для этого он должен нажать управляющую кнопку К4. Эта кнопка своими контактами *a* разорвет цепь сигнального реле 5, а контактом *б* соединит провод *A*₁, идущий к управляющим реле 2, с плюсом источника тока. Управляющее реле включения 2а, катушка которого присоединена через сигнальный контакт 1 масляного выключателя к минусу источника тока, оказывается при этом под током. Реле 2а замыкает свои контакты и производит включение масляного выключателя.

При включении масляного выключателя его сигнальные контакты 7, изменяя свое положение, разрывают цепь управляющего реле 2а и включают реле 2б. Так как катушка реле 2б присоединена на контролируемой установке к плюсу источника тока, то провод А₁ оказывается обесточенным. Исчезновение тока в цепи управления можно было бы использовать для того, чтобы поставить диспетчера в известность, что масляный выключатель включился и кнопку К4 можно отпустить. Такая сигнализация нужна, однако, лишь тогда, когда процесс включения требует вследствие каких-либо причин значительного времени. Обычно можно обойтись без этой сигнализации, заставляя диспетчера нажимать на кнопку в течение определенного промежутка времени.

Когда кнопка К4 будет отпущена, то она своими контактами а снова замкнет цепь сигнального реле 5. Так как сигнальные контакты масляного выключателя соединяют провод А₁ со стороны контролируемой установки с плюсом источника, то через обмотку х сигнального реле, приключенную к минусу источника тока, пройдет ток. Одновременно проходит ток и через катушку управляющего реле 2б. Число витков катушек управляющих реле 2б и 2а незначительно по сравнению с числом витков катушек сигнального реле 5, имеющих большое сопротивление. Поэтому при их последовательном включении приходит в действие только сигнальное реле, а управляющее реле притянуть свой якорь не может.

Обмотка х при появлении в ней тока притянет свой якорь, изменит положение коромысла реле и переключит его контакты. При этом контакты а реле разорвут цепь обмотки х и подготовят цепь обмотки у, служащей для приема обратного сигнала о включении масляного выключателя. Контакты б сигнального реле замкнут цепь зеленой сигнальной лампочки, горение которой укажет диспетчеру на то, что масляный выключатель включился. Квитирование обратных сигналов происходит при помощи квитирующего ключа К6. При переключении этого ключа в положение, соответствующее включенному масляному выключателю (на фиг. 134 влево), цепь зеленой сигнальной лампочки будет разорвана и она погаснет.

Сигнальное реле 5 помимо двух переключающихся контактов имеет еще один проскакивающий контакт, который не показан на фиг. 134. Этот контакт включает при каждом переключении реле 5 звуковой сигнал, указывающий диспетчеру на получение обратного сигнала.

Ключ К7, показанный на фиг. 134, служит для проверки цепей управления и сигнализации. При переключении этого ключа он изменяет полярность на общих проводах Б и В и на шинах контролируемой установки. При этом все сигнальные реле должны изменить свое положение на все время, в течение которого будет нажат ключ К7. Правильное переключение всех сигнальных реле укажет на исправное состояние проводов, катушек реле и сигнальных ламп.

Нахождение под током сигнальных реле только в течение небольшого промежутка времени позволяет не считаться с сопротивлением общих проводов, так как вероятность совпадения моментов передачи обратных сигналов от ряда масляных выключателей очень мала. Даже при одновременном выключении нескольких масляных выключателей

(например, во время короткого) сигналы от этих выключателей не будут переданы точно в один и тот же момент времени вследствие разницы во времени действия релейной защиты и приводов масляных выключателей. Следует указать, что катушки реле 5 должны быть все же достаточно чувствительными, чтобы обеспечить быстрое срабатывание реле.

В схеме фирмы АЕГ применяется несколько упрощенный способ сигнализации положения объектов (положением рукоятки квитирующего ключа). В больших диспетчерских пунктах, где сигналы поступают на диспетчерский щит, такой способ сигнализации, вряд ли применим. Это является недостатком устройства телеуправления АЕГ. Другим его недостатком является необходимость специальных реле. Следует указать, что равноценная схема с мгновенно переключающимися реле может быть собрана из обычных телефонных реле путем применения, например, включения сигнального реле, описанного на стр. 282.

Общим недостатком однопроводных схем телеуправления является возможность применения их только при определенном соотношении между сопротивлением линии связи и сопротивлением сигнальных реле, обеспечивающем достаточно большую разность токов при управлении и сигнализации. Подсчеты показывают, что при использовании телефонных реле удовлетворительные соотношения можно получить при сопротивлении линии связи не больше 500 Ω . При большем сопротивлении линии необходимо применять двухпроводные схемы.

34. Устройства телеуправления комбинационного типа

Принцип комбинирования заключается, как уже говорилось выше, в том, что, включая в различных комбинациях провода, соединяющие диспетчерский пункт с контролируемой установкой, можно производить выбор определенного объекта, используя число проводов меньшее, чем общее количество контролируемых объектов.

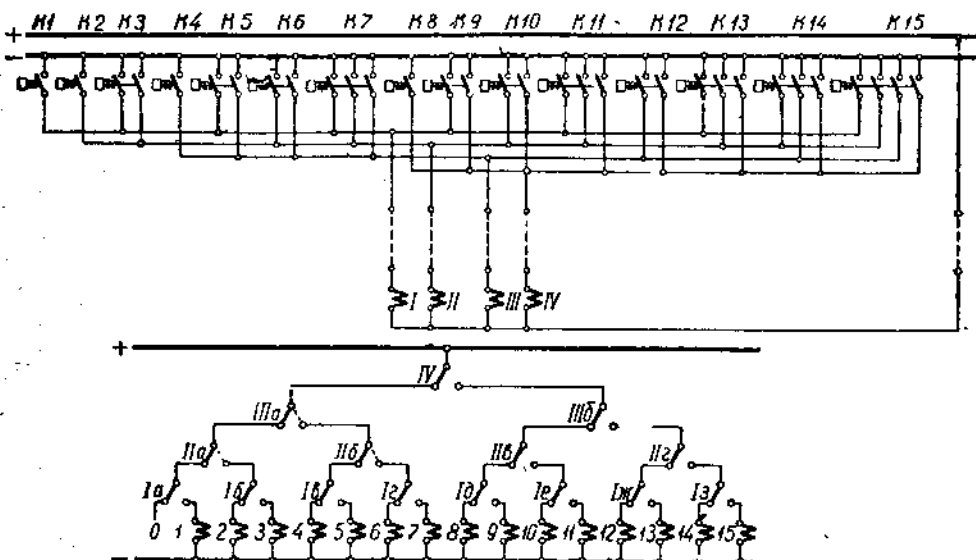
Схема многоканального устройства телеуправления комбинационного типа приведена на фиг. 135.

Включение выбирающих реле производится при помощи кнопок $K1-K7$, которые включают их в различных комбинациях.

На контролируемой установке выбор исполнительного реле производится при помощи так называемой п и р а м и д ы контактов. В этой пирамиде при переключении каждого из контактов производится выбор одной половины следующих за ним контактов. Так, например, контакт реле IV при своем переключении вправо или влево выбирает группу сигналов с номером до восьми или после восьми. Контакт реле III из выбранной реле IV группы сигналов выбирает сигналы с номером до четырех или после четырех. Контакты реле II выбирают группы сигналов по два и т. д. Этим путем выбирается определенный сигнал. Например, при нажатии кнопки $K6$ на контролируемой установке включатся реле II и III. Эти реле, переключив свои контакты (см. пункт на фиг. 135), образуют цепь: плюс источника тока, опущенный контакт реле IV, притянутый контакт IIIa, притянутый контакт IIb, опущенный контакт Iг, обмотка исполнительного реле 6, минус

источника тока. Таким образом при действии реле *II* и *III* будет произведен выбор шестого исполнительного реле.

Как было показано в § 30, количество комбинаций значительно увеличивается, если применять посылку тока различных качеств, например, различной полярности. Такой способ применяется в четырехпроводном устройстве телеуправления фирмы Вестингауз (Polaricode direct selecting system), схема которого приведена на фиг. 136.



Фиг. 135. Принципиальная схема многоканального устройства телеуправления комбинаторного типа.

K1 — K15 — кнопки посылки сигналов; *I—IV* — выбирающие реле; *1—15* — исполнительные реле.

Прием сигналов производится линейными реле *1, ..., 8*, соединенными последовательно с вентильными устройствами, пропускающими ток в обмотки реле только в одном направлении и обеспечивающими таким образом выбор реле в зависимости от посылаемой полярности тока. Схема включения вентильных устройств обеспечивает действие реле *1, 2, 3, 4, ...* от тока положительной полярности, а реле *5, 6, 7, 8* — от тока отрицательной полярности. Посылка тока в линейные реле производится из диспетчерского пункта (или с контролируемой установки при посылке обратного сигнала) при помощи выбирающих кнопок, включающих линейные реле в различных комбинациях. В 12 случаях посылка импульсов производится по двум проводам, в 24 случаях используются три провода и в остальных 14 случаях передача происходит по всем четырем проводам одновременно. Полное распределение включения проводов и импульсов тока положительной и отрицательной полярности указано в табл. 2. Всего по четырем проводам можно производить передачу 50 сигналов.

ТАБЛИЦА 2

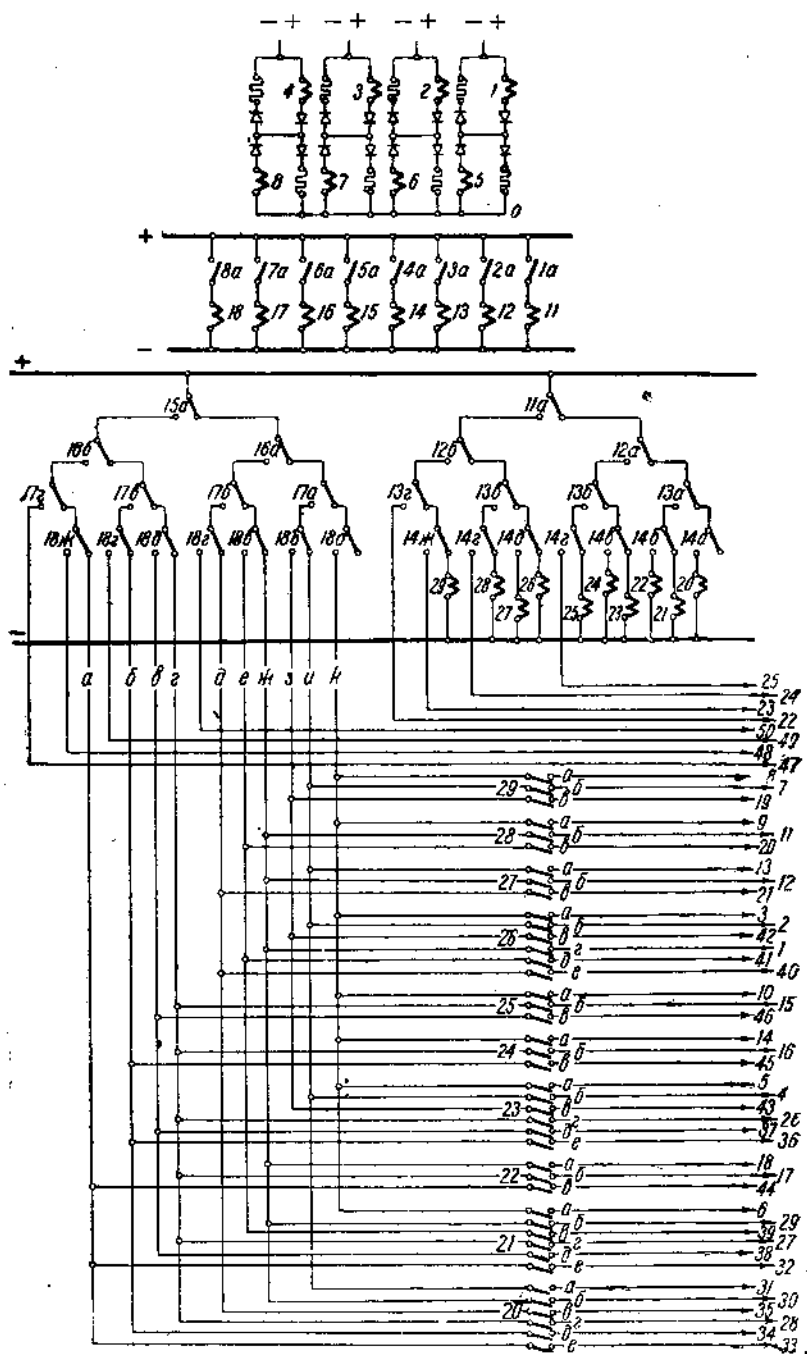
Распределение сигналов в четырехпроводном устройстве телеуправления фирмы Вестингауз

№ сигнала	Линии				Включ. реле	№ сигнала	Линии				Включ. реле	№ сигнала	Линии				Включ. реле
	1	2	3	4			1	2	3	4			1	2	3	4	
1	+	-			1, 6	18		-	+	+	3, 4, 6	35		-	-	+	4, 6, 7
2	+		-		1, 7	19	+	+	-	-	1, 2, 7, 9	36	-	+	-	-	2, 5, 7
3	+			-	1, 8	20	+	-	+	-	1, 3, 6, 8	37	-	+		-	2, 5, 8
4		+	-		2, 7	21	+	+	-	+	1, 4, 6, 7	38			+	-	3, 5, 8
5		+		-	2, 8	22	+	+	+	-	1, 2, 3, 8	39	+	-	+	-	3, 6, 8
6			+	-	3, 8	23	+	+	-	+	1, 2, 4, 7	40	+	+		-	1, 6, 7
7	+	+	-		1, 2, 7	24	+	-	+	+	1, 3, 4, 6	41	+		-	-	1, 6, 8
8	+	+		-	1, 2, 8	25	-	+	+	+	2, 3, 4, 5	42	+		-	-	1, 7, 8
9	+		+	-	1, 3, 8	26	-	+			2, 5	43		+	-	-	2, 7, 8
10		+	+	-	2, 3, 8	27	-		+		3, 5	44	-	-	+	+	3, 4, 5, 6
11	+	-	+		1, 3, 6	28	-			+	4, 5	45	-	+	-	+	2, 4, 5, 7
12	+		-	+	1, 4, 6	29		-	+		3, 6	46		+	+	-	2, 3, 5, 8
13	+		-	+	1, 4, 7	30		-		+	4, 6	47	-	-	-	+	4, 5, 6, 7
14		+	-	+	2, 4, 7	31			-	+	4, 7	48	-		+	-	3, 5, 6, 8
15	-	+	+		2, 3, 5	32	-	-	+		3, 5, 6	49	-	+	-	-	2, 5, 7, 8
16	-	+		+	2, 4, 5	33	-	-		+	4, 5, 6	50	+		-	-	1, 6, 7, 8
17	-		+	+	3, 4, 5	34	-		-	+	4, 5, 7						

При посылке двух комбинаций импульсов последовательно друг за другом можно по четырем проводам при том же распределении импульсов передавать 2500 сигналов.

Проследим по схеме фиг. 136 процесс выбора для некоторых сигналов. Пусть диспетчер желает послать сигнал № 1. Комбинация для этого сигнала согласно табл. 2 состоит из положительного импульса, посылаемого в первый линейный провод, и отрицательного импульса, посылаемого во второй линейный провод. При посылке этой комбинации сработают реле 1 и 6, которые, замкнув свои контакты, включают реле 11 и 16. Реле 11, переключив свой контакт 11а в правой пирамиде контактов, замкнет цепь реле 26 (через спокойное положение контактов 126, 136 и 140). Реле 16, переключив свои контакты, образует в левой пирамиде контактов цепь: плюс, спокойное положение контакта 15а, переключенное положение контакта 16а, спокойное положение контактов 176 и 186, провод ж. При включении реле 26 плюс источника тока через провод ж и контакт 26г будет направлен в исполнительное реле 1.

При посылке сигнала № 50 нужно включить согласно табл. 2 все четыре провода сразу. При этом в первый линейный провод нужно послать положительный импульс, а во все остальные — отрицательные импульсы. При такой комбинации импульсов сработают реле 1, 6, 7 и 8. Эти реле, замкнув свои контакты, включают реле 11, 16, 17 и 18. Реле 16, 17 и 18, переключив свои контакты, образуют в левой пирамиде цепь для исполнительного реле № 50 (плюс источника тока,



Фиг. 136. Схема выбирающих цепей четырехпроводного устройства телеуправления фирмы Вестингауз.

спокойное положение контакта 15а, рабочее положение контактов 16а, 17б и 18г).

Надежность передачи в комбинационных устройствах телеуправления зависит от надежности работы реле и контактов. Отказ в работе реле или контакта влечет за собой изменение комбинации включения проводов и неправильную передачу сигнала. Так, например, отказ реле II в схеме фиг. 135 при передаче сигнала № 6 вызовет выбор четвертого исполнительного реле вместо шестого.

В описываемом устройстве для защиты от неправильной передачи сигналов применен способ передачи контрольных импульсов.

Линейные цепи и цепи выбирающих реле, изображенные на схеме фиг. 136, имеются в этой системе как в диспетчерском пункте, так и на контролируемой установке. Нормально, при отсутствии передачи сигналов, к обоим концам линии присоединены линейные реле, соединенные последовательно друг с другом. При посылке сигнала с любой стороны специальное пусковое реле отсоединяет линейные реле с того же конца и присоединяет на нем линейные провода к посылающим цепям. Этим предупреждается возможность посылки встречных сигналов.

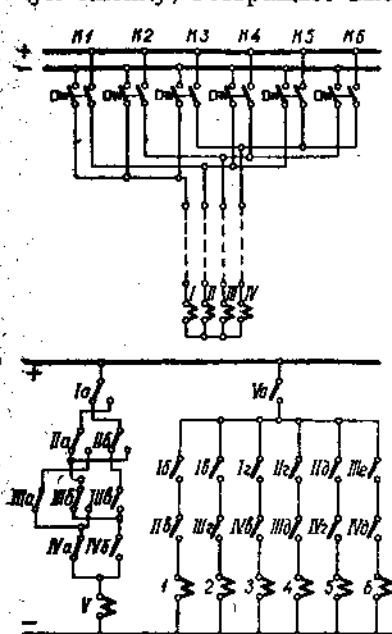
Посылка выбирающей комбинации импульсов производится в диспетчерском пункте путем нажатия на специальную выбирающую кнопку для каждого контролируемого объекта.

При посылке из диспетчерского пункта выбирающей комбинации импульсов на контролируемой установке описанным выше путем образуется цепь для выбора одного из исполнительных реле, и это реле срабатывает. При этом оно посылает в диспетчерский пункт контрольную комбинацию импульсов, которая таким же путем, как и на контролируемой установке, производит выбор одного из контрольных реле. Это реле при своем срабатывании включает контрольную лампочку около соответствующей выбирающей кнопки. Если выбирающие и контрольная комбинации импульсов были переданы правильно, то в диспетчерском пункте будет включена контрольная лампочка, расположенная около выбирающей кнопки, на которую воздействовал диспетчер при посылке выбирающей комбинации импульсов. В противном случае при получении контрольной передачи включится другая лампочка, что укажет диспетчеру на неправильность выбора. Диспетчер может возвратить выбирающие реле в нормальное положение и повторить передачу сигнала вновь. Для этого достаточно отпустить выбирающую кнопку и через некоторый промежуток времени нажать ее вновь.

Контрольная комбинация импульсов обычно отличается от выбирающей. Это дает двойную гарантию правильности передачи.

После передачи контрольной комбинации импульсов исполнительное реле на контролируемой установке и контрольное реле в диспетчерском пункте соединяют по двум из имеющихся четырех проводов, управляющие цепи соответствующего объекта с управляющим ключом. Остальные два провода используются для поддержания исполнительных и контрольных реле в занятом ими положении до тех пор, пока не будет отпущена выбирающая кнопка.

Если горение контрольной лампочки показывает, что выбор был произведен правильно, то диспетчер нажимом на управляющий ключ осуществляет желаемую операцию. По осуществлении этой операции он по тем же проводам получает обратный сигнал и, отпуская выбирающую кнопку, возвращает выбирающие реле в положение покоя.



Фиг. 137. Принципиальная схема комбинационного устройства телеуправления с комбинацией проводов по два.

K1 — K6 — кнопки послыски сигналов;
I—IV — выбирающие реле; V — реле
защиты от неправильной передачи;
1—6 — исполнительные реле.

вления с комбинацией проводов по два. Количество сигналов равно числу сочетаний из количества проводов по два:

$$N = C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}.$$

По схеме фиг. 137 при наличии четырех проводов и четырех выбирающих реле можно передавать всего шесть сигналов в то время, как схема фиг. 135 при том же количестве выбирающих реле позволяет передавать 15 сигналов.

Для защиты от неправильной передачи сигналов служит реле V, которое своим контактом Va включает цепи исполнительных реле. Обмотка этого реле включается через последовательную цепь контактов выбирающих реле I—IV, допускающую включение реле V только

При автоматическом переключении на контролируемой установке передача сигнала и проверка его производятся таким же порядком. Сперва посылается выбирающая комбинация импульсов в диспетчерский пункт, где срабатывает одно из исполнительных реле. Это реле посылает обратно на контролируемую установку контрольную комбинацию импульсов. Если передача выбирающих и контрольных импульсов произошла правильно, то с контролируемой установки передается в диспетчерский пункт сигнал, воздействующий на соответствующее сигнальное реле. При квитировании сигнала выбирающие реле приходят в спокойное положение. При одновременном возникновении нескольких сигналов передача их при помощи специальных реле производится друг за другом.

В комбинационных устройствах может быть применен и контроль по сумме импульсов. Однако это ограничивает число комбинаций, поскольку в этом случае число импульсов в каждой посылаемой комбинации должно быть одинаковым. На фиг. 137 изображена схема устройства телеуправления с комбинацией проводов по два. Количество сигналов равно

при срабатывании двух выбирающих реле. При срабатывании одного или трех реле цепь реле V остается разомкнутой.

Так как при комбинационном телеуправлении не применяется устройств, производящих выбор цепей последовательно во времени, как в устройствах распределительного типа, то время передачи этих устройств невелико. Так, например, в четырехпроводном устройстве фирмы Вестингауз выбор объекта и посылка контрольной комбинации импульсов занимают всего 0,4 сек. при одинарной посылке и 0,8 сек. при двойной посылке.

ГЛАВА X

МАЛОКАНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ

35. Число проводов и способы передачи в устройствах телеуправления распределительного типа

Действие устройств телеуправления распределительного типа основано, как уже говорилось выше, на последовательном переключении линий связи, соединяющих диспетчерский пункт и контролируруемую установку, с одной сигнальной цепи на другую.

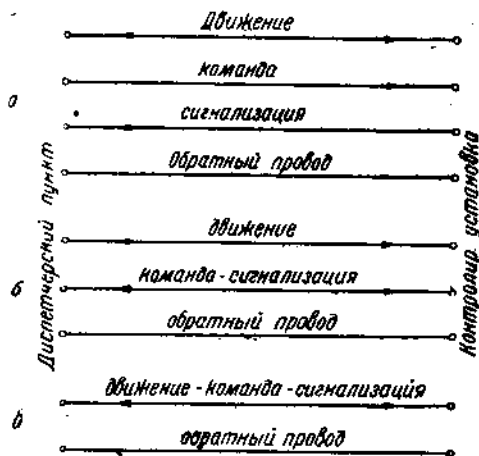
Принципиально для осуществления работы устройств телеуправления распределительного типа между диспетчерским пунктом и контролируемой установкой необходимо иметь четыре провода (фиг. 138, а).

Один из этих проводов служит для осуществления синфазного движения переключателей, второй — для передачи команд из диспетчерского пункта на контролируемую установку, третий — для передачи сигналов с контролируемой установки на диспетчерский пункт и четвертый является обратным для первых трех.

Применение устройств, требующих четырех проводов при расстояниях, имеющих место в больших энергосистемах, нецелесообразно, а в некоторых случаях (при многократном использовании проводов) и невозможно.

Рассмотрим методы сокращения числа проводов.

Легко можно объединить провода, используемые для команды и сигнализации. При объединении этих двух проводов нужно выполнить устройство телеуправления таким образом, чтобы оно допускало передачу сигналов по одному и тому же проводу в двух направлениях

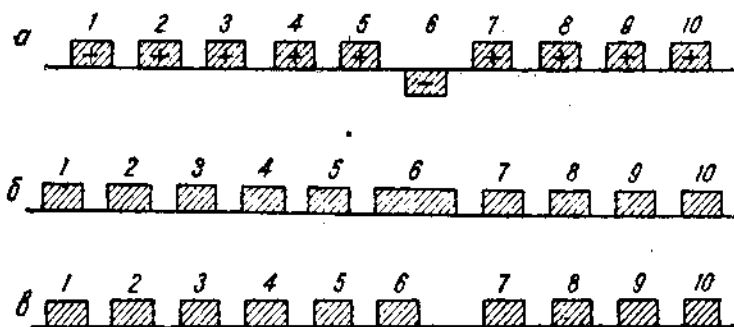


Фиг. 138. Использование проводов в устройствах телеуправления распределительного типа.

(фиг. 138, б). Обычно это осуществляется путем передачи сигналов за один цикл работы устройства в одну сторону, а за другой цикл работы — в другую сторону. В устройствах, где синфазность движения переключателей проверяется при каждом шаге, передача сигналов в ту и другую сторону может быть осуществлена и за один цикл работы устройства. Поскольку в распределительных устройствах во время их работы происходит последовательное переключение линейного провода с одной сигнальной цепи на другую, то можно применить схему, при которой на части контактов передача сигналов происходит в одну сторону, а на другой — сигналы передаются в обратную сторону.

Оба перечисленных способа передачи сигналов по одному проводу обладают достаточной надежностью. Следует только отметить, что первый способ дает несколько более сложные схемы, поскольку необходимо осуществлять переключение устройств для передачи в ту или другую сторону, и требует несколько большего времени, поскольку для передачи сигналов необходимо два цикла работы системы.

Дальнейшее сокращение проводов можно осуществить, совместив провод движения с проводом сигнализации (фиг. 138, в).



Фиг. 139. Способы передачи сигналов в устройствах телеуправления распределительного типа.

Это можно осуществить двумя способами: или передавая импульсы движения и импульсы сигнализации друг за другом, или же осуществляя движение теми же импульсами, которыми передаются сигналы. В дальнейшем мы покажем, что последний способ дает некоторые ограничения в отношении использования контактов переключателей.

Для передачи сигналов в устройствах телеуправления распределительного типа применяются или импульсы тока различной полярности (фиг. 139, а) или импульсы и паузы различной продолжительности (фиг. 139, б и в).

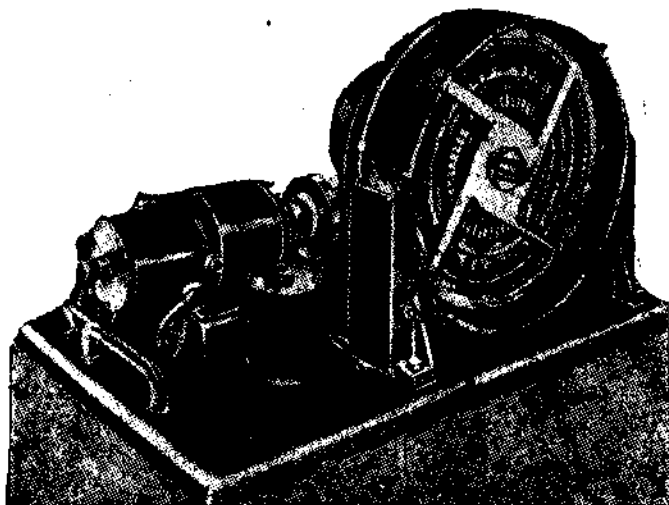
Первый способ требует для передачи сигналов или постоянного тока или двух частот переменного тока (одной вместо постоянного тока положительной полярности и другой — вместо тока отрицательной полярности). Это накладывает определенные ограничения в отношении использования линий связи.

Во втором способе передача может производиться как постоянным, так и переменным током.

36. Устройства телеуправления с моторными переключателями

а) Дистрибуторное устройство телеуправления фирмы Джeneralь Электрик К°. Одним из первых устройств телеуправления, применяющих переключатели моторного типа, является устройство фирмы Джeneralь Электрик К°.

Переключатели, называемые в устройстве телеуправления фирмы Джeneralь Электрик К° «дистрибуторами» (дистрибутор означает распределитель), представляют собой диски из изолирующего материала, на которых расположены три пары концентрических проводящих колец (фиг. 140). В каждой паре колец одно разделено на изолиро-

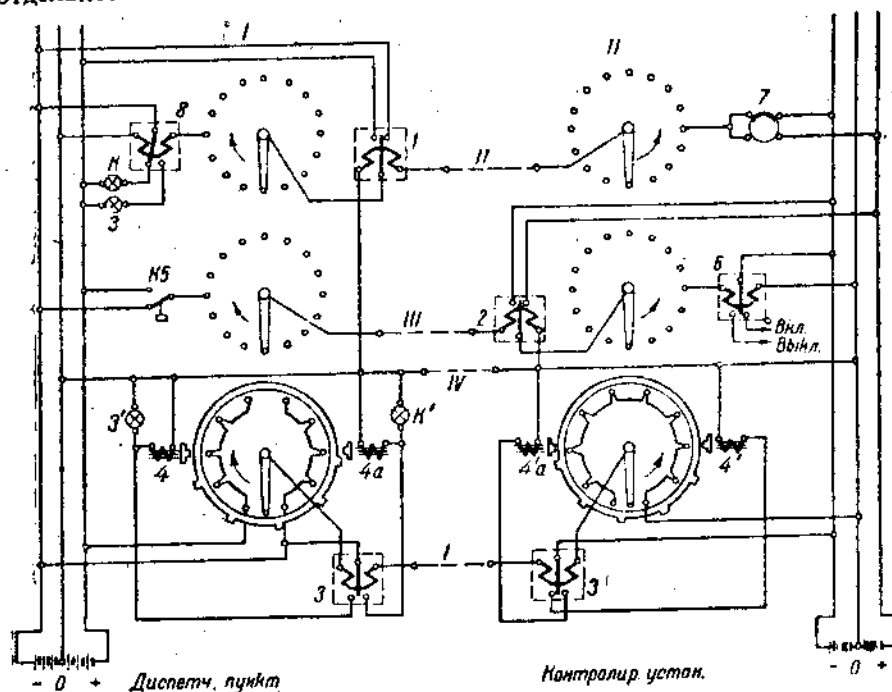


Фиг. 140. Моторный переключатель фирмы Джeneralь Электрик К°.

ванные друг от друга контакты (контактный ряд), другое же выполнено сплошным. По этим кольцам скользят шесть попарно электрически соединенных щеток, укрепленных на общем щеткодержателе. Щеткодержатель вращается небольшим моторчиком в $1/50$ л. с. со скоростью 12 об/мин. Три сплошных кольца соединены с тремя проводами связи. В каждой паре колец щетки, перемещаясь по контактному ряду, соединяют поочередно каждый контакт со сплошным кольцом. Одна пара колец служит для управления, другая — для сигнализации и третья — для синфазирования вращения щеткодержателей. В соответствии с этим контакты второго контактного ряда соединены в диспетчерском пункте с управляющими ключами К5 (фиг. 141), а на контролируемой установке — с управляющими поляризованными реле 6. Контакты первого контактного ряда на контролируемой установке соединены с сигнальными контактами 7 контролируемого объекта,

а в диспетчерском пункте с сигнальными поляризованными реле 8, зажигающими сигнальные лампочки. Наконец, контакты третьего контактного ряда соединены непосредственно с аккумуляторной батареей, посылающей импульсы для синфазирования вращения щеткодержателей.

На фиг. 141 каждый контактный ряд представлен для наглядности отдельно.



Фиг. 141. Принципиальная схема устройства телеуправления дистрибуторного типа фирмы Джeneral Электрик К⁰.

I и II — дистрибуторы; 1 — линейное реле сигнализации; 2 — линейное реле управления; 3 и 3' — линейное реле синхронизации; 4, 4', 4a и 4a' — задерживающие электромагниты; K5 — управляющий ключ; 6 — управляющее реле; 7 — сигнальный контакт масляного выключателя; 8 — сигнальное реле; K и З — красная и зеленая сигнальные лампочки.

Прием посылаемых импульсов в устройстве телеуправления Джeneral Электрик К⁰, как и в ряде других, не производится непосредственно исполнительными реле. Специальные линейные реле (1 и 2 на схеме фиг. 141), получая ток через линейные провода от посылающей установки, срабатывают и замыкают цепи, питающие исполнительные реле от местной батареи. Исполнительные реле имеют обычно значительное количество контактов, необходимые им для выполнения ряда дополнительных функций (включение сигналов несоответствия, звукового сигнала и т. п.). Это не позволяет обеспечить достаточную чувствительность при включении их последовательно с сопротивлением линий. Линейные реле имеют обычно не больше одного контакта и

могут быть рассчитаны на достаточно малые токи, что позволяет включать их через линии значительного сопротивления и большой длины.

Работа цепей управления и сигнализации устройства Джeneralь Электрик К⁰ будет подробно рассмотрена позже; в настоящей главе разбирается действие только цепи синфазирования.

Синфазирование движения щеткодержателей выполнено в устройстве телеуправления фирмы Джeneralь Электрик К⁰ по принципу старт-стоп.

Синфазирющие контактные ряды переключателей имеют по 10 контактов. У переключателей контролируемой установки все эти контакты соединены вместе и присоединяются к обратному проводу IV, соединяющему средние точки аккумуляторных батарей диспетчерского пункта и контролируемой установки. В диспетчерском пункте контакты синфазирующего кольца разделены на две половины, в каждой из которых контакты соединены все вместе. При этом в одной половине контакты соединены с отрицательным, а в другой половине с положительным полюсом аккумуляторной батареи.

При нормальной работе скорости вращения щеткодержателей будут примерно одинаковыми (щеткодержатели приводятся во вращение одинаковыми моторчиками, включенными на одинаковые напряжения). Поэтому для обеспечения полной синфазности движения достаточно будет контролировать одинаковое положение щеткодержателей только в нескольких фиксированных точках. Для этого щеткодержатели по своей внешней окружности снабжены зубцами, которые при их вращении проходят мимо электромагнитов 4, 4', 4а и 4'а с собачками, расположенными по диаметру переключателя. Сплошные части синфазирующих колец соединены вместе через провод 7 и линейные поляризованные реле, которые при своем срабатывании включают обмотки задерживающих электромагнитов 4 и 4'.

При синфазном вращении оба щеткодержателя будут достигать одновременно одноименных клемм синфазирующих колец. При этом через поляризованные реле 3 и 3' будет проходить ток, и они, замыкая свои контакты, будут включать электромагниты 4 и 4'. Последние, притягивая собачки, будут пропускать зубцы щеткодержателей, предоставляя им таким образом возможность беспрепятственно вращаться.

Если щеткодержатели вращаются несинфазно, то в тот момент, когда щетки одного из них, ушедшего вперед, будут проходить над клеммой синфазирующего кольца, щетки отстающего еще не достигнут клеммы. Цепь тока через линейные реле 3 и 3' не замкнется, и контакты их останутся в нейтральном положении. Электромагниты 4 и 4' благодаря этому останутся выключенными, и собачки их задержат опередивший щеткодержатель до тех пор, пока отставший щеткодержатель не догонит его и своими щетками не замкнет цепь реле 3 и 3'. Эти реле, переключив свои контакты, включают соответствующие электромагниты, последние притянут свои собачки, и оба щеткодержателя будут вращаться дальше синхронно.

Как видно из фиг. 141, через реле 3 и 3' проходит ток в одном направлении, когда щетки переключателя 1 скользят по пяти левым клеммам, и ток противоположного направления, когда эти щетки скользят

по пяти правым клеммам. В первом случае поляризованные реле 3 и 3' замыкают свои правые контакты и включают левые электромагниты. Во втором же случае они замыкают свои левые контакты и включают правые электромагниты. Этим осуществляется проверка правильности положения щеткодержателей в обеих половинах переключателя.

Для контроля исправного действия цепей синфазирования служат две сигнальные лампочки — красная K' и зеленая $З'$, включенные параллельно электромагнитам 4 и 4а, и звонок. Обе сигнальные лампочки и звонок помещаются в диспетчерском пункте. Если цепь синфазирования работает исправно, то одновременно с включением магнитов 4 и 4а загорается или зеленая или красная лампочка, причем каждая из них горит в продолжение полуоборота щеткодержателя. Если же цепь синфазирования где-либо прервется или один из переключателей остановится, то лампочки или гаснут совсем или же горит все время одна и та же. Одновременно начинает звонить сигнальный звонок, указывая таким образом на то, что цепь синфазирования действует неисправно.

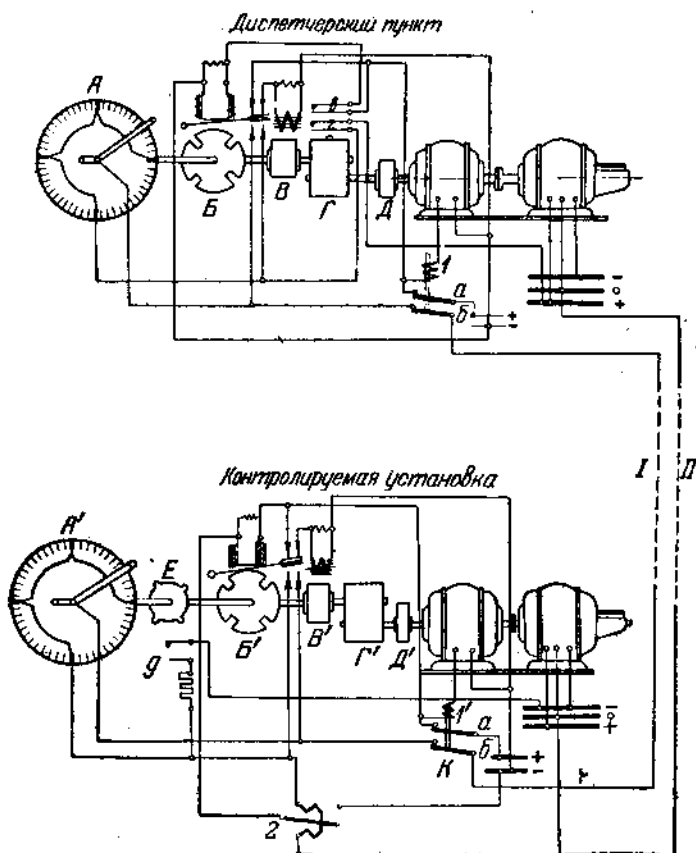
б) Устройство телеуправления с моторными переключателями фирмы Сименс. В дистрибуторном устройстве телеуправления фирмы Дженераль Электрик К⁰ между диспетчерским пунктом и контролируемой установкой нужно иметь четыре провода. В этом устройстве число проводов равно таким образом максимально необходимому. В устройстве телеуправления фирмы Сименс число проводов равно двум. Это сокращение числа проводов достигнуто за счет того, что сигналы в ту и другую сторону и синфазизирующие импульсы передаются поочередно на разных клеммах одного и того же контактного ряда переключателей. Синфазирование движения переключателей в устройствах телеуправления фирмы Сименс производится так же, как и в устройствах телеуправления фирмы Дженераль Электрик К⁰ по методу старт-стоп.

Принципиальная схема цепей синфазирования представлена на фиг. 142.

Переключатель, применяемый в системе фирмы Сименса, представляет собой агрегат, состоящий из моторчика постоянного тока, трехполюсной динамомашины напряжением 2×55 В, служащей источником тока для управляющих, сигнальных и синфазизирующих цепей, коллектора А, по которому перемещаются щетки переключателя, останавливающего диска В с четырьмя прорезами, магнитной муфты В, зубчатой передачи Г, регулятора скорости вращения Д и прерывателя тока (на фиг. 142 не показан).

Переключатель фирмы Сименс представляет собой плиту, на которой размещаются упомянутые выше части. Эта плита, имеющая размеры 106×32 см, имеет с задней стороны ножевые контакты, к которым присоединены все провода, отходящие от переключателя. Переключатели подвешиваются на цапфах к шкафам, в которых размещаются сигнальные и управляющие реле. При этом ножевые контакты входят в контактные щетки, имеющиеся на шкафу, и осуществляют этим соединение переключателя с реле, расположенными в шкафу. Такая конструкция соединения выполнена для того, чтобы иметь возможность быстрой замены переключателей, являющихся в устройстве

наиболее часто повреждающейся частью. Постоянство скорости вращения переключателей поддерживается с достаточной точностью регуляторами скорости колодочного типа, поддерживающими число оборотов щеток с точностью в $\pm 2\%$ при изменении числа оборотов моторчиков на 50%.



Фиг. 142. Схема цепей синфазирования в устройстве телеуправления фирмы Сименс.

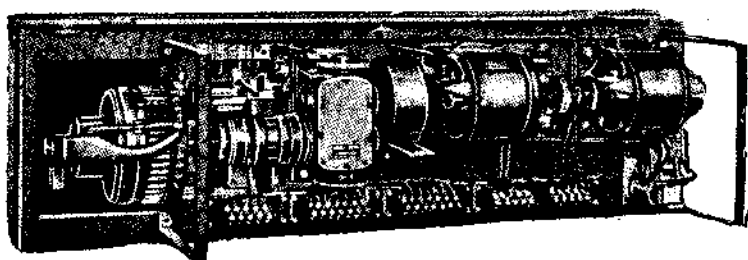
А — коллектор; Б — останавливающий диск; В — электромагнитная муфта; Г — зубчатая передача; Д — регулятор скорости вращения; Е — восстанавливающее приспособление; 1 — нулевое реле; 2 — синхронизирующее поляризованное реле.

Проверка синфазности щеток осуществляется четыре раза за один оборот при помощи поляризованного реле 2 (фиг. 142), останавливающих дисков Б и специальных синфазирющих ламелей на коллекторах переключателей.

В положении, изображенном на фиг. 142, щетки переключателей находятся посредине между синфазирющими ламелями. Собачки останавливающих дисков Б скользят по поверхности последних и, замыкая свои верхние контакты, дают ток магнитным муфтам В. Магнитные

муфты благодаря этому сцеплены и осуществляют механическую связь между осями коллекторов и моторчиков. Последние вращают щетки, перемещая их в направлении стрелки.

Предположим, что переключатель диспетчерского пункта отстал в своем вращении от переключателя контролирующей установки. При достижении щеткой последнего синфазирющей ламели собачка останавливающего диска войдет в прорез диска и, разомкнув своими контактами цепь магнитной муфты, остановит переключатель. Он будет стоять до тех пор, пока соответствующей синфазирющей ламели не достигнет щетка переключателя диспетчерского пункта. В этот момент



Фиг. 143. Моторный переключатель фирмы Сименс.

собачка останавливающего диска этого переключателя также войдет в его прорез и, разомкнув цепь магнитной муфты, остановит переключатель диспетчерского пункта. Однако в тот же момент специальный штифт, имеющийся на передаче Γ переключателя, произведет замыкание контактов δ и ϵ . Первый из них при своем замыкании даст ток в катушку останавливающего диска. Эта катушка притянет собачку диска, последняя выйдет из его прореза, замкнет контакты магнитной муфты и вновь соединит ось коллектора с осью моторчика. Контакт ϵ при своем включении замкнет цепь от плюса динамомшины переключателя диспетчерского пункта через синфазирющую ламель, щетку переключателя, контакт 16 нулевого реле, провод 1 , контакт $1'6$ нулевого реле контролируемой установки, щетку, синфазирющую ламель переключателя контролируемой установки, катушку поляризованного реле 2 и провод II к нулю динамомшины диспетчерского пункта. Поляризованное реле 2 замкнет при этом свой контакт и даст ток в катушку останавливающего диска контролируемой установки. Эта катушка притянет собачку останавливающего диска, последняя выйдет из его прореза и включит магнитную муфту. Таким образом с этого момента щетки коллекторов будут вращаться опять синфазно.

Для возвращения в нормальное положение контактов поляризованного реле 2 служит восстанавливающее приспособление E .

Оно устроено таким образом, что сейчас же после установления синфазности вращения переключателей диспетчерского пункта и контролируемой установки его контакт замыкается и дает в катушку реле 2 импульс тока, полярность которого противоположна полярности тока, протекающего по этой катушке при замыкании контактов пе-

переключателя диспетчерского пункта. При этом реле 2 размыкает свой контакт и возвращается в нормальное положение.

Если переключатели диспетчерского пункта и контролируемой установки вращаются синфазно, то щетки их достигнут синфазизирующих ламелей одновременно. Так как в тот же момент замкнутся контакты 6 и 2 и катушки останавливающих дисков, получив ток, притянут свои собачки, то никакой остановки переключателей не произойдет, и они будут вращаться дальше до тех пор, пока один из них не выйдет из синфазной работы.

Следует отметить, что в устройстве телеуправления фирмы Сименс синфазирование происходит только в случае забегания вперед переключателя диспетчерского пункта. При забегании вперед переключателя контролируемой установки синфазирования не последует, так как в нем отсутствуют контакты 6 и 2, и система будет работать неправильно. Для того чтобы исключить возможность такой неправильной работы, щеткам переключателя диспетчерского пункта при регулировке устройства дают несколько большую скорость вращения, для того чтобы возможность забегания вперед переключателя контролируемой установки была исключена.

Передача сигналов осуществляется в устройстве телеуправления фирмы Сименс по тем же двум проводам в те моменты, когда щетки переключателей находятся между синфазизирующими ламелями. Часть ламелей используется для передачи сигналов в одну сторону и часть ламелей для передачи сигналов в другую сторону. Переключатели фирмы Сименс рассчитаны на передачу 20 сигналов в одну сторону и 20 сигналов в другую сторону. При прибавлении третьего провода и применении двойного коллектора число сигналов может быть увеличено до 40.

Действие цепей управления и сигнализации в устройстве телеуправления фирмы Сименс будет рассмотрено в гл. XI.

37. Устройства телеуправления с шаговыми переключателями

Синхронизация переключателей по методу старт-стоп, применяемая в устройствах телеуправления Джeneralь Электрик К⁰ и Сименс, не дает достаточно надежной защиты от неправильной передачи сигналов. Проверка синфазности движения щеток переключателей осуществляется здесь только периодически: у Джeneralь Электрик К⁰ 10 раз за один оборот переключателя и у Сименс — четыре раза. Если один из переключателей остановится вследствие каких-либо причин в промежутке между синфазизирующими контактами, то другой будет продолжать двигаться до первого синфазизирующего контакта. При этом контакт, на котором произошла остановка первого переключателя, будет поочередно соединяться со всеми последующими контактами второго переключателя до тех пор, пока щетка последнего не придет на синфазизирующий контакт, и может произойти передача ряда неправильных сигналов.

Эти недостатки синфазирования по методу старт-стоп принудили ряд фирм, изготавливающих устройства телеуправления, перейти к методам синфазирования переключателей на каждом контакте.

Применение этих методов к переключателям моторного типа не дало удовлетворительных результатов вследствие усложнения цепей синфазирования и конструкции самих переключателей. Поэтому большинство фирм перешло с 1928/29 г. к применению в качестве переключателей телефонных искателей шагового типа. Переход на телефонную аппаратуру вызван в основном сходством задач, выполняемых устройствами телеуправления, с задачами автоматической телефонии (выбор одного определенного объекта из многих). Известную роль сыграло здесь также и большее совершенство, простота и дешевизна телефонных искателей по сравнению с сконструированными специально для цепей телеуправления моторными переключателями. Последние конструктивно громоздки и по своим размерам не соответствуют тем малым токам, которые им приходится передавать. Привод их сложен (моторчики, магнитные муфты, специальные регуляторы числа оборотов). Самый способ равномерного движения переключателей не соответствует тем задачам, которые они должны выполнять в устройствах телеуправления распределительного типа. Принципиально здесь рационально прерывистое движение, которое дает шаговый искатель: быстрый переход с одного контакта на другой и задержка на каждом контакте в течение времени, необходимого для передачи сигнала.

а) Устройство телеуправления с шаговыми искателями телефонного типа фирмы Джeneralь Электрик К⁰ ¹. Принципиальная схема устройства телеуправления с шаговыми искателями телефонного типа фирмы Джeneralь Электрик К⁰ приведена на фиг. 144. Для работы этого устройства между диспетчерским пунктом и контролируемой установкой нужно иметь четыре провода. Один из проводов служит для управления, второй — для сигнализации, третий — для синфазирования и четвертый — обратным для первых трех.

В устройстве применяются искатели с пятью контактными рядами. Один ряд (9а на фиг. 144) служит для командования и управления, второй (9б) — для обратной сигнализации, третий (9в) — для синфазирования, четвертый (9г) — в диспетчерском пункте для сигнализации останова искателей в определенном положении, а на контролируемой установке для выключения пусковых реле, и пятый — для движения искателей. Искатели фирмы Джeneralь Электрик К⁰ — полукруглого типа с прямым движением.

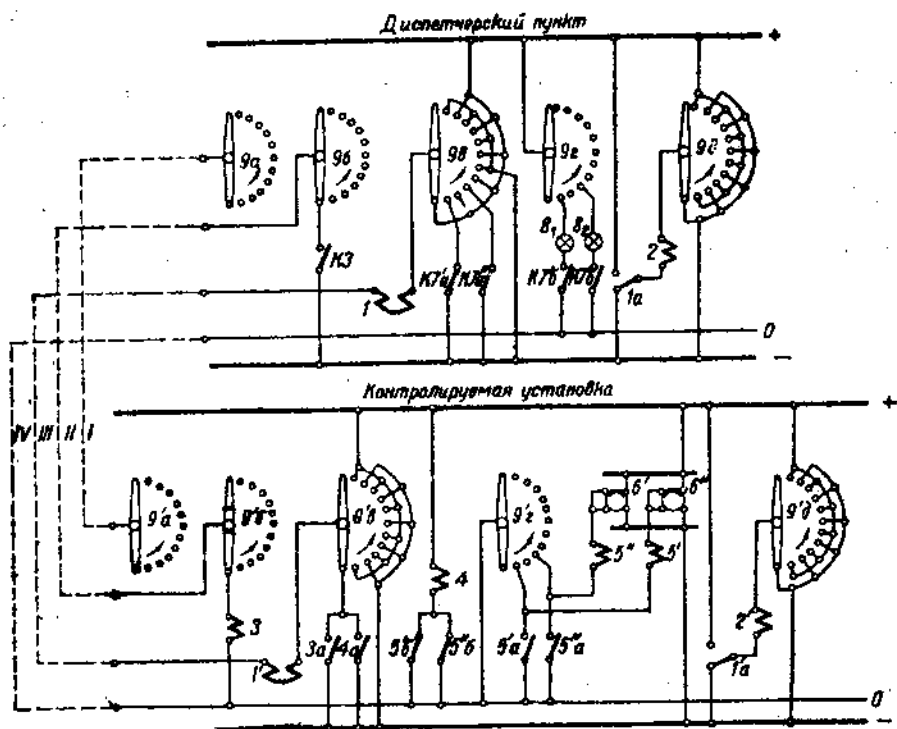
Нормально устройство находится в спокойном состоянии и приходит в действие автоматически при изменении положения одного из контролируемых объектов или от руки при пуске системы со стороны диспетчерского пункта нажимом на пусковую кнопку КЗ.

Движение щеток искателя и контроль синфазности осуществляются следующим образом: электромагниты 2 и 2', приводящие в движение искатели, присоединяются при движении их щеток с одной стороны через контактный ряд 9д попеременно к положительному и отрицательному полюсам аккумуляторной батареи, а с другой стороны одновременно к противоположным полюсам батареи при помощи контактов линейных поляризованных реле 1 и 1'. Последние включены последо-

¹ Такого же типа устройства телеуправления изготавливаются фирмой АЕГ.

вательно с обоих концов синфазизирующей линии III и также присоединяются попеременно к различным полюсам аккумуляторных батарей через синфазизирующие контактные ряды искателей 9в и 9'в в диспетчерском пункте и на контролируемой установке.

Одноименные клеммы синфазизирующих контактных рядов искателей в диспетчерском пункте и на контролируемой установке присоединены к различным полюсам аккумуляторной батареи. При синфазном



Фиг. 144. Принципиальная схема устройства телеуправления с шаговыми искателями фирмы Дженераль Электрик К^о.

1 и 1' — линейные реле движения; 2 и 2' — электромагниты искателей; K3 — пусковая кнопка; 3 и 4 — пусковые реле; 5 — вспомогательные реле объектов; 6 — сигнальные контакты объектов; K7 — избирающие кнопки; 8 — сигнальные лампочки, указывающие остановку искателей в определенном положении; 9 и 9' — искатели.

к одному полюсу и отпускают якоря. Однако при передвижении искателей на один контакт щетки 9б их меняют полярность в цепи линейных реле 1 и 1'. Эти реле переключают соответственно свои контакты и снова изменяют полярность на электромагнитах искателей. Последние притягивают якоря, передвигая искатели еще на один контакт, и т. д.

При расхождении искателей на один шаг щетки их окажутся на соседних контактах, поляризованные реле будут приключены на контролируемой установке и в диспетчерском пункте к одному и тому же полюсу аккумуляторных батарей, и искатели остановятся.

В нормальное время устройство находится в спокойном состоянии. Для этого один из контактов синфазизирующего ряда на контролируемой установке (так называемый нулевой контакт) присоединяется к аккумуляторной батарее не непосредственно, а через контакты пусковых реле 3 и 4, которые нормально разомкнуты.

При достижении щетками искателей нулевого контакта они останавливаются, так как синфазизирующая цепь, содержащая поляризованные реле 1 и 1', оказывается разомкнутой.

Пуск устройства с диспетчерского пункта производится нажатием пусковой кнопки КЗ. При нажатии этой кнопки образуется цепь от одного из полюсов батареи диспетчерского пункта через пусковую кнопку, нулевые контакты сигнальных рядов 9б искателей, сигнальный провод 11 и катушку пускового реле 3 к обратному проводу.

Через пусковое реле пройдет ток, оно замкнет контактами 3а цепь реле 1 и 1', пустив искатели в ход. Как только искатели сойдут с нулевого контакта, дальнейшее их движение будет совершаться беспрепятственно до тех пор, пока щетки не обойдут все контакты и снова не достигнут нулевого положения.

Если пусковая кнопка к этому моменту будет разомкнута, то искатели остановятся.

Автоматический пуск искателей при изменении положения объекта осуществляется при помощи вспомогательных реле 5. Эти реле включены через вспомогательные контакты б каждого объекта и свои блокирующие контакты 5а.

При изменении положения какого-либо из объектов цепь его вспомогательного реле на момент переключения контактов б прерывается, и оно, выключаясь, размыкает свои блокирующие контакты 5а. Одновременно своими контактами 5б это реле замыкает цепь пускового реле 4, которое пускает искатели в ход таким же образом, как это производит реле 3.

Реле 5 остается выключенным, так как его цепь разорвана на блокирующих контактах 5а.

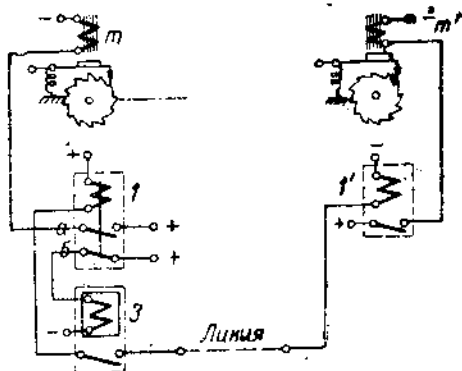
В таком положении реле 5 будет находиться, пока щетки искателей не достигнут контактов, к которым присоединены цепи данного объекта. В этом положении цепь вспомогательного реле 5 замыкается через контактный ряд 9'а, и оно, включившись, блокируется во включенном положении через свои блокирующие контакты 5а, одновременно разомкнув цепь пускового реле.

Искатели могут быть остановлены в любом положении при помощи так называемых «выбирающих» кнопок K7 в диспетчерском пункте.

При воздействии на них контактов *K7a* этих кнопок размыкают синфазную цепь, а вместе с тем и цепь поляризованных реле *1* и *1'* в диспетчерском пункте, подобно тому как это делает пусковое реле на нулевом контакте искателя контролируемой установки.

Благодаря этому искатели, дойдя до соответствующего контакта, останавливаются.

При желании изменить положение какого-либо объекта или передать какой-либо сигнал диспетчер воздействует сперва на соответствующую выбирающую кнопку и затем, нажимая на пусковую кнопку, пускает искатели в ход. Дойдя до контакта, с которым соединена выбирающая кнопка, искатели останавливаются и этим осуществляют постоянное соединение через управляющий провод 1 между ключом управления в диспетчерском пункте и соответствующим управляющим реле на контролируемой установке. Одновременно через провод сигнализации II образуется цепь между вспомогательными контактами объекта и сигнальным реле в диспетчерском пункте.



Фиг. 145. Цепи движения искателей.

1 и 1' — линейные реле движения; 3 — прерывающее реле; m и m' — электромагниты искателей.

После осуществления управления и получения обратного сигнала диспетчер освобождает выбирающую кнопку. Цепь реле 1 и 1' при этом восстанавливается, и искатели, приходя в движение, перемещаются до следующей нажатой выбирающей кнопки или до нулевого контакта.

При автоматическом пуске искателей с контролируемой установки искатели делают один оборот, не останавливаясь. Сигнал в этом случае передается на ходу искателей в тот момент, когда щетки его проходят мимо соответствующего контакта.

б) Устройство телеуправления Мосэнерго (система инж. Гаврилова). В устройстве телеуправления фирмы Джeneralь Электрик К^о необходимо иметь четыре провода между диспетчерским пунктом и контролируемой установкой. Автором настоящей книги было разработано в Мосэнерго устройство телеуправления, основанное на том же принципе синфазирования, но требующее всего двух проводов для своей работы.

В устройстве применены круглые искатели завода «Красная заря» типа ОД.

Синфазное движение щеток искателей осуществляется при помощи трех реле, образующих пульс-пару (фиг. 145). Два из этих реле (7 и 7') включены последовательно друг с другом и с линией, соединяющей

диспетчерский пункт и контролируруемую установку. Контакты этих реле при замыкании включают электромагниты искателей. Третье реле 3, цепь которого размыкается контактами реле 1, размыкает при отпуске своих контактов цепь реле 1 и 1' и линии.

При прохождении тока через реле 1 и 1' они замыкают свои контакты и включают электромагниты искателей m и m' , которые притягивают свои якоря.

Реле 1 одновременно с замыканием цепи электромагнита m другим своим контактом размыкает цепь реле 3. Это реле по истечении некоторого промежутка времени отпускает свои контакты (реле 3 выполнено с замедлением на выключение) и разрывает цепь реле 1 и 1'. Последние, выключая свои контакты, прерывают ток в электромагнитах искателей, которые одновременно переводят свои щетки на следующий контакт.

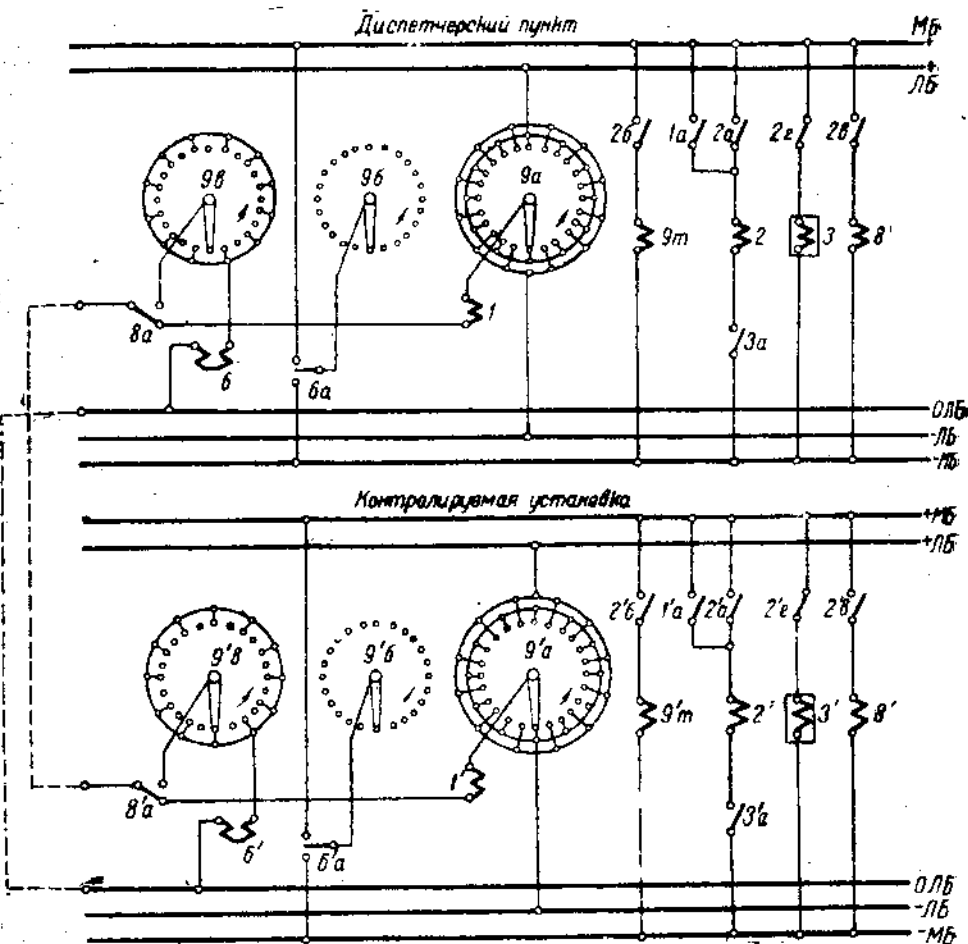
Однако при выключении реле 1 оно своими контактами снова включает реле 3, которое, притягивая якорь и замыкая свои контакты, снова включает цепь реле 1 и 1'. Эти реле, получая ток, снова включают электромагниты искателей, причем реле 1 снова разрывает ток в реле 3. Последнее по истечении некоторого промежутка времени вторично размыкает цепь реле 1 и 1', заставив их передвинуть щетки искателей еще на один контакт.

Более подробная схема цепей движения и синфазирования приведена на фиг. 146.

Для синфазирования движения щеток искателей здесь применено, так же как и в устройстве телеуправления фирмы Джeneralь Электрик К°, поочередное переключение линейных цепей движения на различные полюса источника тока.

Движение искателей осуществляется описанным выше путем, но уже при помощи трех реле 1, 2 и 3 в диспетчерском пункте и трех реле 1', 2' и 3' на контролируемой установке. Реле 1 и 1' служат для того, чтобы контролировать синфазность движения щеток искателей, самое же движение осуществляется при помощи реле 2 и 2', 3 и 3' следующим образом: при положении щеток искателей на одноименных контактах реле 1 и 1' оказываются включенными на различные полюса аккумуляторных батарей диспетчерского пункта и контролируемой установки и через них проходит ток. Притягивая свои контакты 1а и 1'а, они включают реле 2 и 2'. Прохождение тока через катушки реле 1 и 1' является признаком того, что щетки искателей находятся в одинаковом положении и, после того как реле 1 и 1' замкнули свои контакты и включили реле 2 и 2', их можно выключить, предоставив провод, соединяющий диспетчерский пункт и контролируемую установку, для передачи сигналов. При этом щетки искателей должны быть задержаны в одном положении на время, необходимое для переключения провода и передачи сигнала. Это осуществляется следующим образом: при включении реле 2 и 2' они контактами 2а и 2'а блокируют себя во включенном состоянии, давая ток на свою катушку помимо контактов 1а и 1'а, контактами 2б и 2'б дают ток в электромагниты 9т и 9'т искателей, контактами 2в и 2'в включают реле 8 и 8' и контактами 2г и 2'г разрывают цепи реле 3 и 3'.

Реле 8 и 8', переключая свои контакты 8а и 8'а, выключают реле 1 и 1' и переводят провод 1 на щетки контактных рядов 9в и 9'в искателей, служащих для передачи сигналов. Поскольку реле 2 и 2' забло-



Фиг. 146. Схема цепей движения и синхронизации в устройстве телеуправления Мосэнерго (инж. М. А. Гаврилова).

1 и 1' — линейные реле движения; 2 и 2' — повторители линейных реле движения; 3 и 3' — прерывающие реле; 6 и 6' — линейные реле сигнализации; 8 и 8' — переключающие реле; 9 и 9' — искатели; т и т' — электромагниты искателей; МБ — местная батарея; ЛБ — линейная батарея.

кированы во включенном состоянии, выключение реле 1 и 1' не вызовет их отпадания, и щетки искателей останутся в прежнем положении.

По истечении некоторого промежутка времени, который должен быть достаточен для передачи сигнала, реле 3 и 3' размыкают цепи реле 2 и 2'. Эти реле, отпуская свои контакты, выключают реле 8 и электромагниты искателей. Искатели переходят при этом на следующий кон-

такт, а реле 8 и 8' переключают провод 1 с цепей сигнализации на цепи движения.

Если щетки искателей правильно перешли на следующий контакт, то цепь реле 1 и 1' снова окажется замкнутой, и они снова включают реле 2 и 2', которые таким же порядком, как описано выше, предоставят провод 1 на некоторый промежуток времени для передачи сигналов и затем переведут щетки искателей в следующее положение.

Передача сигнала может произойти только после действия реле 1 и 1', т. е. только в том случае, когда щетки искателей диспетчерского пункта и контролируемой установки стоят на одном и том же контакте. Если щетки искателей разойдутся, то реле 1 и 1' окажутся присоединенными к одному и тому же полюсу и останутся в покое. Реле 2 и 2' в этом случае останутся также в покое, и цепи сигнализации будут отсоединены.

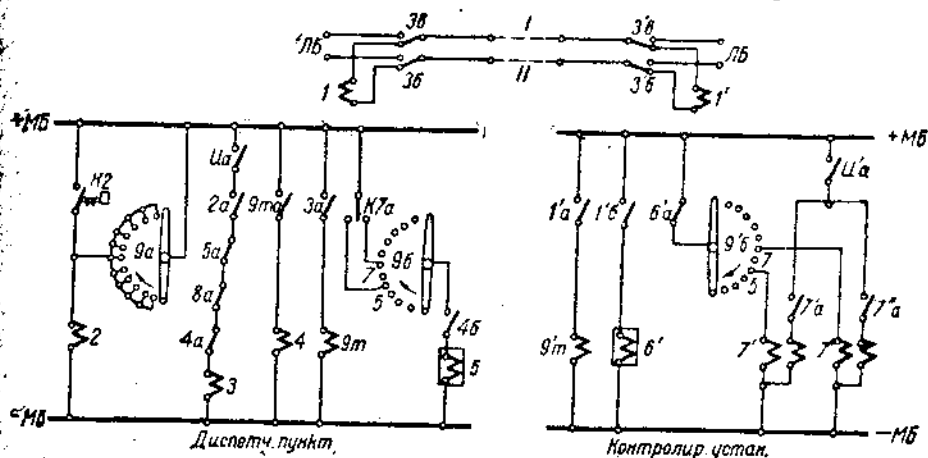
Для передачи сигналов служат контакты рядов 9б, 9'б, 9в и 9'в, которые используются через один то для передачи, то для приема сигналов.

На диспетчерском пункте нечетные контакты ряда 9в присоединены к управляющим ключам, а четные соединены вместе и приключены к линейному поляризованному реле б. На контролируемой установке, наоборот, нечетные контакты ряда 9'в соединены вместе и приключены к линейному реле б', а четные связаны с вспомогательными контактами объектов. При посылке сигнала управления напряжение той или другой полярности поступает в передающем пункте от контактов управляющих ключей на соответствующую нечетную клемму контактного ряда 9в. В момент прохождения щеток искателя мимо этого контакта ток замыкается на контактный ряд 9'в принимающего пункта. Там соответствующий контакт ряда 9'в присоединен к линейному реле б'. Это реле в зависимости от полярности тока переводит свои контакты б'а в ту или другую сторону и дает ток той же полярности, но уже от местной батареи на исполнительные и сигнальные реле, присоединенные к контактному ряду 9'б искателя. На четных контактах искателей аналогичным образом осуществляется обратная сигнализация с контролируемой установки на диспетчерский пункт. Так как контакты рядов 9в и 9'в присоединены к реле б и б' и к управляющим и сигнальным контактам через один, то передача сигналов в ту и другую сторону происходит при движении щеток искателей поочередно на соседних контактах. Эта передача может осуществляться, конечно, и в любой другой последовательности.

в) Устройство телеуправления с шаговыми искателями фирмы Сименс. Для работы устройства телеуправления фирмы Сименс необходимо, так же как и в устройстве телеуправления Мосэнерго, два провода. Однако здесь сокращение числа проводов получено за счет отказа от синфазирования искателей на каждом контакте и за счет применения защиты методом контрольной серии импульсов. Для передачи применен способ посылки импульсов с увеличенными паузами. Передача по линии может производиться как постоянным, так и переменным током.

Действие устройства происходит следующим образом:

В диспетчерском пункте и на контролируемой установке устанавливаются четыре искателя, из которых два составляют так называемую «командно-избирательную» пару и остальные два так называемую «контрольно-избирательную» пару. Совместное действие этих искателей сводится к тому, что сначала командная пара производит выбор объектов контролируемой установки и подготавливает их к выполнению переданной команды, а затем контрольная пара проверяет правильность выбора. После этого в зависимости от результатов проверки команда приводится в исполнение или же дается тревожный сигнал, указывающий диспетчеру на неправильный выбор.



Фиг. 147. Устройство телеуправления фирмы Сименс. Схема цепей выбора.

1 и 1' — линейные реле; 2 — пусковое реле; K2 — пусковая кнопка; 3 и 4 — пульс-пара движения искателя; 5 — реле, дающее замедленный импульс; 6' — реле, воспринимающее замедленный импульс; 7 — исполнительные реле; K7 — управляющий ключ; U — контакты управляющего искателя; 9 и 9' — командные искатели; 9m и 9'm — электромагниты искателей.

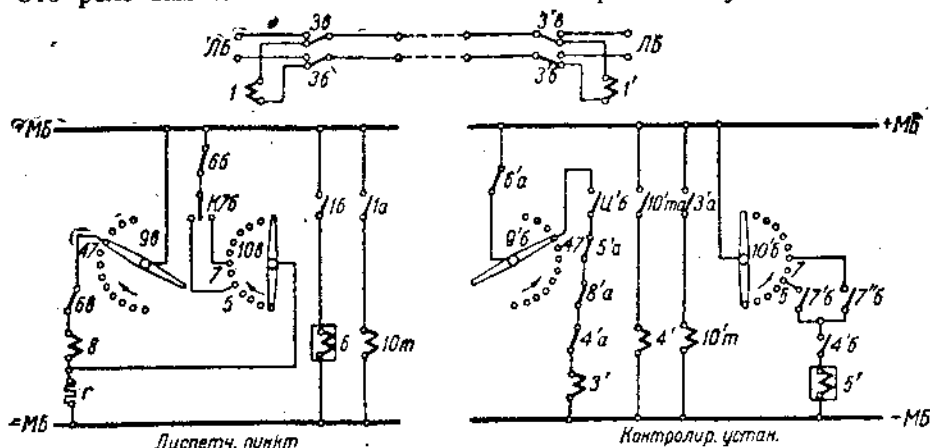
В последнем случае искатели возвращаются в нулевое положение, и передача осуществляется вновь.

Прохождение отдельных процессов контролируется третьим искателем, носящим название «управляющего» искателя.

Схемы процессов выбора, проверки выбора, исполнения команды и обратной сигнализации изображены на фиг. 147, 148, 149 и 150. Командные искатели обозначены на этих схемах цифрами 9 и 9', а контрольные искатели — цифрами 10 и 10'. Управляющие искатели ради упрощения показаны только своими контактами, обозначенными на схемах буквой U. С этой же целью приведены цепи выбора управления и сигнализации только для одного объекта.

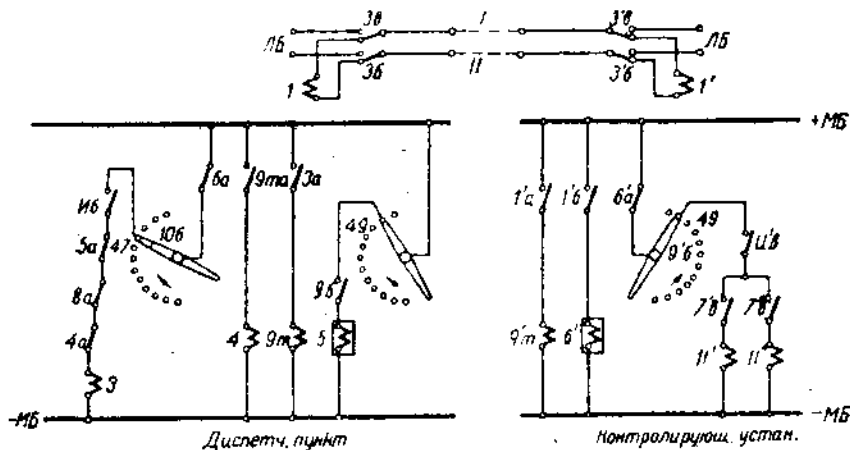
Для изменения положения объекта диспетчер должен привести управляющий ключ K7 в положение, соответствующее желаемому изменению положения объекта, и затем нажатием на пусковую кнопку K2 пустить устройство в ход.

При нажатии на кнопку $K2$ замыкается цепь нулевого реле 2. Это реле замыкает свои контакты $2a$ и через замкнутые контакты



Фиг. 148. Устройство телеуправления фирмы Сименс. Схема контроля правильности выбора.

1 и 1' — линейные реле; 3' и 4' — пульс-пара движения искателя 10'; 5' — реле, дающее замедленный импульс; 6 — реле, воспринимающее замедленный импульс; 7 — исполнительное реле; 9 и 9' — командные искатели; 10 и 10' — контрольные искатели; 10m и 10'm — электромагниты контрольных искателей.



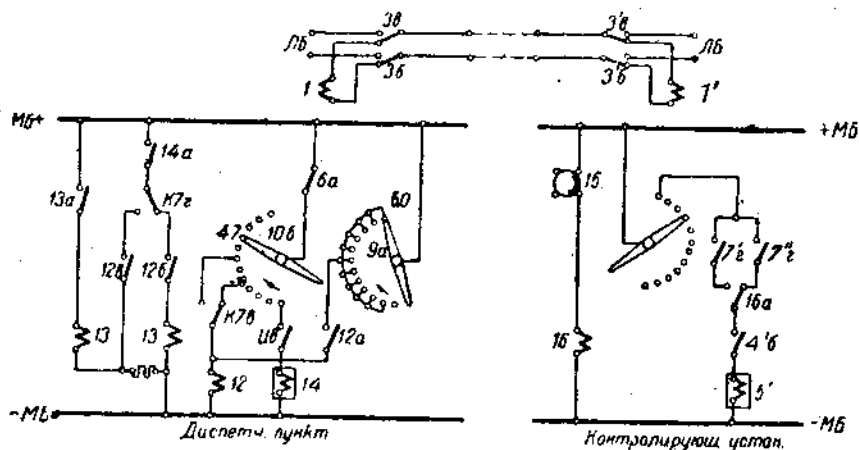
Фиг. 149. Устройство телеуправления фирмы Сименс. Схема цепей управления.

1 и 1' — линейные реле; 3 и 4 — пульс-пара движения искателя 9; 5 — реле, дающее замедленный импульс; 6' — реле, воспринимающее замедленный импульс; 7 — исполнительное реле; 9m и 9'm — электромагниты командных искателей; 9 и 9' — командные искатели; 10 и 10' — контрольные искатели; 11 — управляющие реле; U — контакт управляющего искателя.

управляющего искателя Ua включает реле 3. Последнее, включая свои контакты $3a$, замыкает цепь электромагнита $9m$ командного искателя и перемещает его щетки на один контакт. Одновременно с этим

реле 3 замыкает свои контакты 3б и 3в в линейной цепи и посылает на контролируемую установку импульс тока.

При включении электромагнита искателя он одновременно с переводом щеток искателя производит замыкание специальных контактов 9та на искателе. При замыкании этих контактов включается реле 4. Это реле размыкает свои контакты 4а и разрывает цепь реле 3. При выключении этого реле последовательно обесточиваются электромагнит искателя 9т и реле 4. При выключении реле 4 оно снова замыкает контакт 4а и снова включает реле 3. Это реле вторично включает электромагнит искателя 9т и передвигает командный искатель еще на



Фиг. 150. Устройство телеуправления фирмы Сименс. Схема цепей обратного сигнала.

1 и 1' — линейные реле; 5' — реле, дающее замедленный импульс; 7 — исполнительное реле контролируемой установки; К7 — управляющий ключ; 9 и 9' — командные искатели; 10 и 10' — контрольные искатели; 12 — исполнительное реле диспетчерского пункта; 13 — сигнальные реле; 14 — реле приема обратного сигнала; U — контакты управляющего искателя.

один контакт, давая одновременно очередной импульс тока в линию. При включении электромагнита искателя его контакты вторично включают реле 4, которое вторично разрывает цепь реле 3.

Так как при сдвигении искателя с нулевого положения пусковой контакт К2 шунтируется щеткой искателя в контактном ряду 9а, то такое включение и выключение реле 3 и одновременное перемещение командного искателя с одного контакта на другой будут продолжаться все время, пока будет оставаться замкнутым контакт Uа управляющего искателя в цепи реле 3.

При переходе командного искателя на контакт, к которому присоединен управляющий ключ К7 через контакты К7а этого ключа и через контактный ряд 9б искателя, замкнется цепь реле 5. Это реле при своем включении разомкнет контакты 5а и выключит реле 3. При этом описанным выше порядком выключится электромагнит искателя 9т и реле 4, причем контакты 4б последнего разорвут цепь реле 5. Так как реле 5 выполнено с замедлением на выключение, то реле 3 оста-

нется обесточенным несколько дольше, чем при нормальном действии реле 3 и 4, в соответствии с чем на линии получится увеличенная пауза между двумя импульсами. По возвращении реле 5 в исходное положение контакты 5а его замыкают снова цепь реле 3, и командный искатель начинает двигаться дальше до перехода его в положение 47, где он останавливается управляющим искателем. Если одновременно будут включены какие-либо другие управляющие ключи, то при прохождении щеток искателей мимо контактов, к которым присоединены эти ключи, всякий раз будет включаться реле 5, и в линии будет получаться увеличенная пауза.

Посылаемые из диспетчерского пункта импульсы тока воспринимаются на контролируемой установке реле 1'. Это реле при каждом импульсе своими контактами 1'а включает электромагнит 9'т командного искателя 9' контролируемой установки, заставляя последний передвигаться синхронно с командным искателем 9 диспетчерского пункта. Одновременно реле 1' включает через контакты 1'б реле 6'. Это реле выполнено с замедлением на выключение и при нормальной частоте импульсов находится все время во включенном состоянии, размыкая своими контактами 6'а цепь щеток 9'б командного искателя контролируемой установки.

При прохождении щеток командного искателя диспетчерского пункта мимо контактов, на которых управляющие ключи находятся во включенном положении, получается, как уже указывалось выше, увеличенная пауза между импульсами, во время которой реле 6' успевает выключиться и замкнуть свои контакты 6'а. Эти контакты при своем замыкании включают через щетку 9'б соответствующие исполнительные реле 7, которые блокируются во включенном состоянии через свои контакты 7а и контакты 7а управляющего искателя.

Придя на контакт 47, командный искатель контролируемой установки останавливается, заканчивая этим цикл выбора. На контролируемой установке после этого остаются включенными одно или несколько реле 7, фиксируя этим посланные команды.

После окончания цикла выбора приходят в действие контрольные искатели 10 и 10'. Эти искатели приводятся в действие при помощи реле 3' (фиг. 148), цепь которого замыкается через положение 47 щеток 9'б командного искателя.

При включении реле 3' оно своими контактами 3'а включает электромагнит 10'т контрольного искателя 10', который передвигает этот искатель на первую клемму. Дальнейшее движение контрольного искателя осуществляется таким же порядком, как было описано выше для командных искателей при помощи поочередного действия реле 3', реле 4' и электромагнита 10'т. При этом при каждом включении реле 3' его контакты 3'б и 3'в включают линию и посылают в диспетчерский пункт импульсы тока.

В диспетчерском пункте эти импульсы воздействуют на линейное реле 1, которое контактами 1а включает электромагнит 10т контрольного искателя 10 в диспетчерском пункте и перемещает его щетки синфазно со щетками контрольного искателя 10' контролируемой уста-

новки. Kontakтами 16 линейное реле 1 включает одновременно реле 6, имеющее замедление на выключение.

При достижении контрольным искателем 10' контактов, соответствующих посланным сигналам, через контакты 76 исполнительных реле, которые, как уже указывалось выше, после окончания цикла выбора остались для посланных сигналов включенными, включается реле 5'. Это реле, так же как и реле 5 в диспетчерском пункте, дает увеличенную паузу между импульсами, посылаемыми в линию. Во время этой увеличенной паузы реле 6 в диспетчерском пункте успевает выключиться и выключить свои контакты 6б и 6в. При этом включается цепь реле 8. Если выбор был произведен правильно, т. е. увеличенная пауза и замыкание контактов 6б и 6в происходят на том же контакте, на котором включен управляющий ключ, то обмотка реле 8 будет закорочена через 6б, контакты К76 управляющего ключа и щетки 10в и соответствующий контакт контрольного искателя 10. Реле 8 остается при этом обесточенным, и контрольные искатели будут продолжать нормально передвигаться до контакта 47, где они останавливаются управляющим искателем.

Если же по каким-либо причинам выбор произошел неправильно, то увеличенная пауза будет получена в диспетчерском пункте не на том контакте, к которому присоединен управляющий ключ, а раньше или позже.

При включении реле 6 и замыкании контактов 6б и 6в цепь, шунтирующая обмотку реле 8, окажется поэтому разомкнутой, и это реле включится. При своем включении оно приостановит дальнейшее движение контрольных искателей и даст тревожный сигнал, возвращающий одновременно все искатели в нулевое положение (цепи аварийного сигнала и возврата искателей в нулевое положение на фиг. 148 не показаны).

Операция переключения после этого должна быть начата снова с нажима пусковой кнопки К2.

Если выбор произведен правильно, то оба контрольных искателя будут передвигаться до контакта 49, где они остановятся.

В этом положении снова замыкается цепь реле 3 в диспетчерском пункте (фиг. 149) и снова придут в движение командные искатели. При достижении этими искателями контакта 49 снова замыкается цепь реле 5. Это реле своим включением вызовет посылку на контролируруемую установку увеличенной паузы между импульсами. На контролируемой установке во время этой паузы успевает отпустить реле 6'. Замыкая свои контакты, это реле через щетки 9'б, контакт 49 командного искателя 9' и контакты 7в исполнительных реле замыкает цепь управляющих реле 11, которые производят желаемое переключение. Если было передано несколько сигналов, то в положении 49 искателей они все будут выполнены одновременно.

После выполнения сигналов командные искатели при помощи управляющего искателя переводятся в положение 50, после чего производится передача обратного сигнала.

Для пояснения процесса обратной сигнализации вернемся на время к процессу обратного контроля. Как уже говорилось, при прохождении

щеток контрольных искателей 10 и 10' во время контрольной передачи мимо контактов, на которых производилась передача сигнала во время процесса выбора, включается реле 5' и в диспетчерский пункт посылается увеличенная пауза. Во время этой паузы реле 6 помимо закорачивания обмотки реле 8 своими контактами 6а включает исполнительные реле 12 (фиг. 150). Эти реле, притягивая свой якорь, блокируют себя во включенном состоянии через свой контакт и щетки контактного ряда 9а командного искателя.

Таким образом после окончания процесса обратного контроля в диспетчерском пункте останутся включенными одно или несколько реле 12, подготовляя соответствующие цепи сигнализации.

По выполнении распоряжения о включении командные искатели переходят на клемму 50. При этом вновь включаются цепи движения контрольных искателей, и они, сходя с контакта 47, двигаются дальше. (Соответствующие цепи движения на схеме фиг. 150 не показаны.)

При изменении положения объекта переключаются его вспомогательные контакты 15, включая или выключая реле 16. Если процесс переключения был осуществлен правильно, то реле 16 переключит свои контакты таким образом, что они совместно с контактами 7'2 (для команды «включить») или 7''2 (для команды «выключить») разомкнут цепь реле 5'. Это реле при прохождении контрольных искателей мимо контакта 50 не подействует, и эти искатели как в диспетчерском пункте, так и на контролируемой установке перейдут в нулевое положение.

Однако как только они достигнут этого положения, через контакты *Uв* управляющего искателя замкнется цепь реле 14, которое, включив свои контакты 14а, включит сигнальное реле 13 (через контакты *K7г* управляющего ключа и контакт 126). Это реле, включившись, заблокирует себя через контакт 13а, зафиксировав таким образом в диспетчерском пункте полученный сигнал.

Если сигнальное реле было уже включено и диспетчер производил выключение объекта, то контакты *K7г* будут находиться в левом положении. При включении контактов 14а образуется цепь через контакты 12в, которая зашунтирует блокирующую обмотку реле 13, и это реле выключится. Сигнальное реле при изменении своего положения зажигает сигнальные лампочки и выключает лампочки несоответствия и звуковой сигнал, которые указывают диспетчеру на получение обратного сигнала (на фиг. 150 сигнальные цепи не показаны).

После получения обратного сигнала контрольные искатели 10 и 10' приходят в нулевое положение. В этом положении они включают командные и управляющие искатели, которые также перемещаются в нулевое положение, размыкая цепи исполнительных реле 7 и 12.

Процесс переключения объекта на этом заканчивается. Длится он около 10—12 сек., считая с момента перевода управляющего ключа в диспетчерском пункте и нажима на пусковую кнопку до получения обратного сигнала.

Если контролируемый объект вследствие какой-либо причины (например, поломки привода) не произведет переключения, то реле 16, оставшись в прежнем положении, создаст своими контактами 16а

цепь для реле 5' на контакте 50. Благодаря этому при прохождении щеток контрольных искателей мимо этого контакта получается увеличенная пауза. Эта увеличенная пауза вызывает вторичное действие искателей и повторение передачи сигналов.

При неполучении обратного сигнала в диспетчерском пункте загорается специальная сигнальная лампочка, указывающая диспетчеру, что команда была передана правильно, но не могла быть выполнена по причинам, не зависящим от устройства телеуправления.

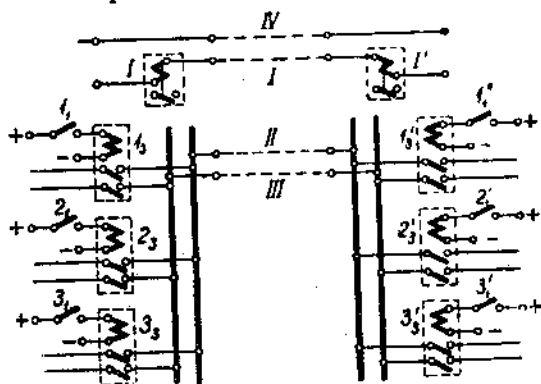
38. Устройства телеуправления с релейными переключателями

В устройствах телеуправления с релейными переключателями функции переключателей выполняются релейными схемами, в которых при

получении импульсов срабатывают последовательно друг за другом ряд реле, переключая линейные провода с одной сигнальной цепи на другую, так же как это делают моторные и шаговые переключатели.

Принципиальная схема действия устройств телеуправления с релейными переключателями изображена на фиг. 151.

Работа релейных переключателей осуществляется под действием линейных реле 1 и 1'. Эти реле включены в линию последовательно друг с другом и получают импульсы тока от пульс-пары, которая для упрощения схемы на фиг. 151 не показана. Реле 1 и 1', замыкая и размыкая свои контакты, производят переключение релейных переключателей таким образом, что после первого импульса (включение и выключение реле 1 и 1') происходит одновременное включение первых реле переключателей. Эти реле своими контактами 1₁ и 1'₁ включают в диспетчерском пункте и на контролируемой установке выбирающие реле 1₃ и 1'₃, принадлежащие первому из контролируемых объектов. Выбирающие реле, замыкая контакты, включают управляющий провод II и сигнальный провод III на цепи объекта № 1, соединяя контакты принадлежащего этому объекту управляющего ключа с исполнительным реле объекта на контролируемой установке и сигнальные контакты объекта с исполнительными реле в диспетчерском пункте. При втором импульсе тока первые реле переключателей выключаются, а вместо них включаются вторые реле. Эти реле, замыкая свои контакты 2₁ и 2'₁, включают выбирающие реле 2₃ и 2'₃ второго объекта и т. д.



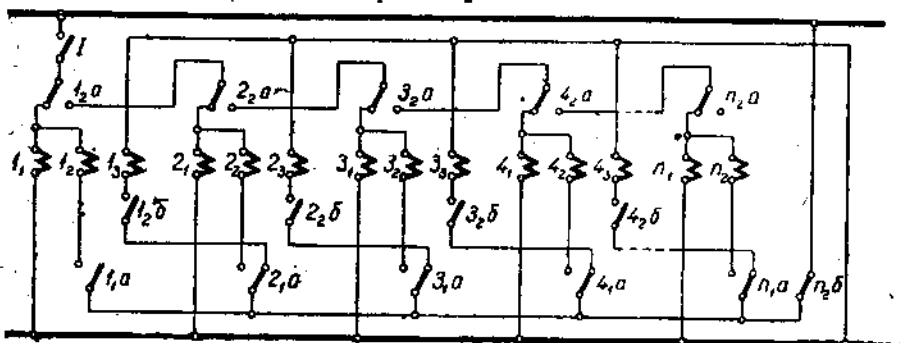
Фиг. 151. Принцип действия устройств телеуправления с релейными переключателями.

1 и 1' — линейные реле движения; 1₁, 2₁ и т. д. — контакты релейных переключателей; 1₃, 2₃ и т. д. — выбирающие реле.

Из ряда существующих схем релейных переключателей ниже рассматриваются две: схема фирмы Вестингауз и схема Ленинградского отделения Всесоюзного института телемеханики и связи (ВГИТЭС).

а) Устройство телеуправления с релейными переключателями фирмы Вестингауз. Принципиальная схема релейного переключателя фирмы Вестингауз приведена на фиг. 152. Действие переключателя протекает следующим образом:

Линейное реле движения, срабатывая, замыкает своими контактами I цепь реле 1_1 . Последнее, притянув якорь, переключает контакт 1_{1a} влево, включая этим цепь реле 1_2 .



Фиг. 152. Принцип действия релейного переключателя фирмы Вестингауз.

I — контакт линейного реле; $1_1, 2_1, 3_1$ и т. д. — реле переключателя; $1_2, 2_1, 3_1$ и т. д. — блокирующие реле; $1_3, 2_3, 3_3$ и т. д. — выбирающие реле.

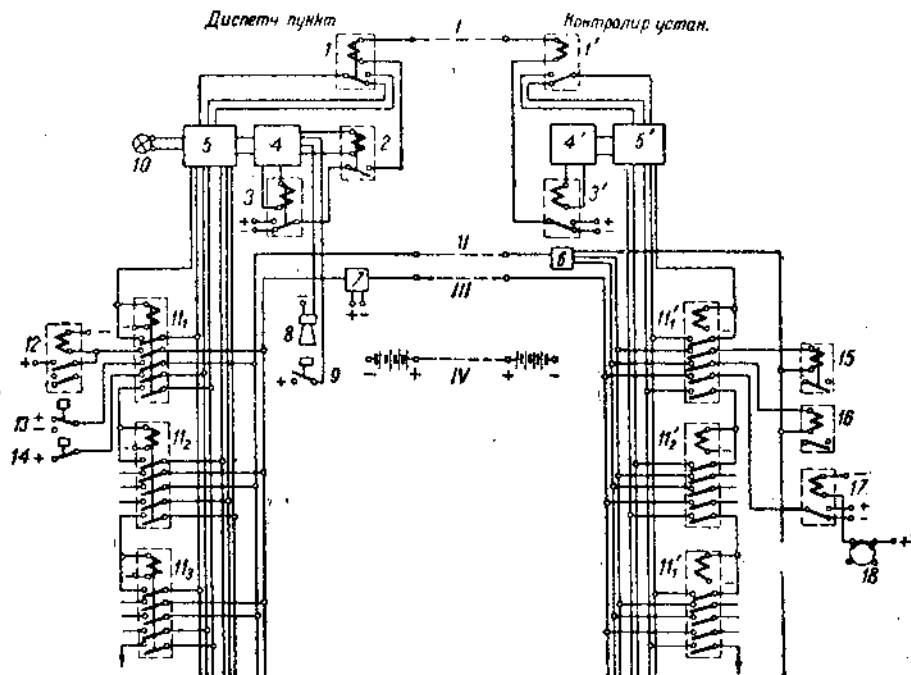
Однако это реле остается еще без тока, так как оно с обоих концов оказывается приключенным к плюсу источника тока.

При размыкании контактов I обмотки реле 1_1 и 1_2 оказываются включенными последовательно через контакты $n_{2б}$ и 1_{1a} . При этом реле 1_2 притягивает свой якорь, переключая контакт 1_{2a} и замыкая контакт $1_{2б}$. Контакт 1_{1a} остается в левом положении, поскольку через обмотку реле 1_1 протекает ток. Kontakтами 1_{2a} реле 1_2 подготавливает цепь для включения следующего реле переключателя, а контактами $1_{2б}$ включает выбирающее реле 1_3 . Это реле, замыкая свои контакты, приключает цепь реле первого объекта к линиям связи.

При вторичном замыкании контакта I замыкается цепь реле 2_1 (через контакты 1_{2a} и 2_{2a}). Это реле переключает свой контакт 2_{1a} , подготавливая, с одной стороны, цепь реле 2_2 , а с другой стороны, размыкая цепь реле 1_3 . Реле 1_3 выключается и отсоединяет цепи первого объекта от линии связи. При размыкании контактов линейного реле I обмотки реле 2_1 и 2_2 оказываются, так же как и реле 1_1 и 1_2 , включенными последовательно друг с другом. Реле 2_2 включается и переключает свои контакты. Контакт 2_{2a} оно подготавливает цепь для включения реле 3_1 , а контактом $2_{2б}$ включает выбирающее реле 2_3 . Реле 2_1 и 2_2 останутся, так же как и реле 1_1 и 1_2 , под током, заблокировавшись на своих контактах. Такое последовательное переключение будет происходить до тех пор, пока не будет включено последнее по счету реле переключателя (на фиг. 152 n_2). Это реле отсоединит своими кон-

тактами Π_2 блокирующие цепи всех реле от источника тока и возвращают их в начальное состояние.

Принципиальная схема устройства телеуправления Вестингауз приведена на фиг. 153. На этой схеме релейные переключатели изображены для упрощения в виде прямоугольников.



Фиг. 153. Принципиальная схема устройства телеуправления фирмы Вестингауз.

1 и 1' — линейные реле движения; 2 — прерывающее реле; 3 и 3' — синфазные реле; 4 и 4' — группа общих реле; 5 и 5' — релейные переключатели; 6 и 7 — линейные реле управления и сигнализации; 8 — звуковой сигнал; 9 — пусковая кнопка; 10 — лампочка, сигнализирующая движение; 11 и 11' — выбирающее реле; 12 — сигнальное реле; 13 — управляющий ключ; 14 — останавливающий ключ; 15 и 16 — управляющие реле; 17 — промежуточное реле; 18 — сигнальные контакты объекта. Элементы 12—18 относятся к цепи одного масляника, контролируемого через реле 11' и 11. Цепи остальных масляников не показаны.

Устройство Вестингауз требует четырех отдельных проводов между диспетчерским пунктом и контролируемой установкой. Один провод служит для работы переключающих цепей, другой — для управления, третий — для сигнализации и четвертый является общим обратным для первых трех.

Действие устройства телеуправления происходит следующим образом:

Линейные реле движения 1 и 1', включенные последовательно в линейный провод движения I, цепь которого прерывается реле 2, дают импульсы тока релейным переключателям 5 и 5'. Под действием этих импульсов последние, переключаясь синфазно друг с другом, включают в диспетчерском пункте и на контролируемой установке выбирающие

Реле 11 и 11'. Эти реле при своем включении присоединяют к управляющему проводу II и сигнальному проводу III управляющие и сигнальные цепи объектов, осуществляя между ними и соответствующими управляющими и сигнальными элементами в диспетчерском пункте непосредственное соединение.

Нормально устройство телеуправления бездействует, и все реле находятся в покое. Устройство приходит в действие или при нажатии на пусковую кнопку 9 в диспетчерском пункте или автоматически при переключении какого-либо из объектов на контролируемой установке.

Для контроля правильности работы релейных переключателей линейные реле 1 и 1' присоединяются в диспетчерском пункте и на контролируемой установке при помощи реле 3 и 3' попеременно к различным полюсам аккумуляторной батареи. Если релейные переключатели вследствие каких-либо причин разойдутся, то оба линейные реле движения окажутся с обоих концов присоединенными к одному и тому же полюсу аккумуляторной батареи, и действие движущих цепей прекратится.

Контроль исправности цепей движения осуществляется при помощи аварийной лампочки 10 и аварийного звонка 8. При нормальном действии цепей движения лампочка 10 горит мигающим светом. При остановке устройства вследствие повреждения в промежуточном положении лампочка загорается постоянным светом, причем одновременно начинает звонить звонок. Диспетчер должен в этом случае выключить пусковой ключ 9, возвратив его в нормальное положение. Этим реле общей группы и релейных переключателей отсоединяются от источника тока и возвращаются все в нулевое положение (размыкание пускового ключа равносильно размыканию контактов n_2b на схеме фиг. 152), после чего устройство вновь может быть пущено в работу для второй передачи сигнала.

При желании изменить положение объекта диспетчер переключает управляющий ключ 13 и затем нажимает пусковой ключ 9. Устройство телеуправления приходит в действие, причем движущие цепи переключают выбирающие реле 11 и 11' до тех пор, пока не будут включены выбирающие реле, соответствующие данному объекту. После этого действие переключающих цепей устройства приостанавливается. Эта остановка сигнализируется в диспетчерском пункте загоранием специальной лампочки у управляющего ключа, на который воздействовал диспетчер. После остановки устройства диспетчер включает главный управляющий ключ (на схеме фиг. 153 не показан). Этим он дает тот или иной полюс аккумуляторной батареи (в зависимости от положения управляющего ключа 13) через контакты управляющего ключа 13 и соответствующее выбирающее реле 11 в провод II. Линейное реле 6, присоединенное к этому проводу на контролируемой установке в зависимости от полярности полученного тока, замыкает те или иные свои контакты и через выбирающее реле 11' включает одно из управляющих реле 15 или 16, осуществляя желаемое переключение.

При изменении положения объекта его вспомогательные контакты 18 через промежуточное реле 17 дают на сигнальные контакты соот-

ветствующего выбирающего реле 11' и сигнальный провод III тот или иной полюс аккумуляторной батареи (соответственно положению «включено» или «выключено»). В диспетчерском пункте ток, проходящий по сигнальному проводу, воздействует на линейное сигнальное реле 7, которое в зависимости от полярности полученного тока включает или выключает индивидуальное сигнальное реле 12. Это реле при своем переключении включает звуковой сигнал и соответствующие сигнальные лампочки, указывающие диспетчеру на получение обратного сигнала.

После окончания операции управления цепи движения автоматически включаются вновь и продолжают переключение выбирающих реле 11 и 11' до тех пор, пока не будут обойдены цепи всех объектов.

При автоматическом переключении объекта на контролируемой установке устройство автоматически приходит в действие и, переключая выбирающие реле, проверяет положение всех объектов, передавая при достижении соответствующих реле сигнал об изменении положения объекта в диспетчерский пункт. В этом случае, однако, остановки системы на выбирающих реле, принадлежащих переключившемуся объекту, не происходит, так как для передачи сигнала достаточно того небольшого промежутка времени, на которое включаются избирающие реле 11 и 11' при работе устройства.

Помимо управляющего ключа 13 каждому контролируемому объекту присвоен в диспетчерском пункте отдельный останавливающий ключ 14. При помощи этого ключа диспетчер имеет возможность остановить релейные переключатели на продолжительное время в любом из промежуточных положений. После такой остановки он может воздействовать на соответствующий объект любое число раз, совершенно так же, как если бы управление им производилось при помощи обычных аппаратов дистанционного управления.

Эта же остановка системы в любом положении может быть использована для передачи по тем же проводам телеизмерения с контролируемой установки по вызову.

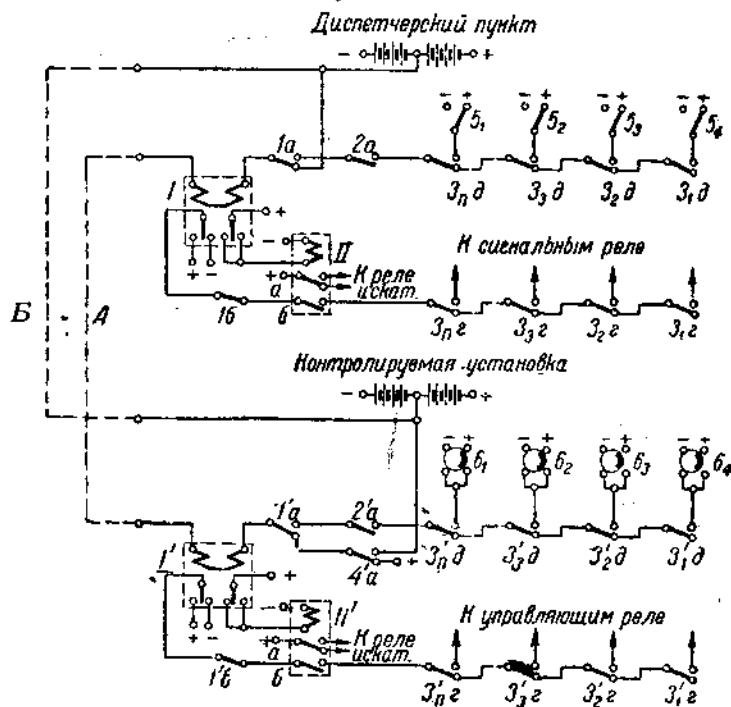
б) Устройство телеуправления ВГИТИС (РТУ-7 — система инж. Шукина). Недостатками устройства телеуправления фирмы Вестингауз является большое количество реле (шесть реле на каждый объект) и необходимость в четырех проводах связи. В устройстве телеуправления с релейными переключателями, разработанном Ленинградским отделением ВГИТИС, количество реле значительно сокращено, а число проводов связи уменьшено до двух.

Принципиальная схема релейного переключателя, применяемого в этом устройстве, приведена на фиг. 154.

Переключение реле осуществляется посредством контактов II, переключающихся при действии устройства вправо и влево. Реле II, являясь по схеме повторителем линейного реле I (фиг. 155), включается и выключается последним при каждом импульсе, передаваемом по линии.

В спокойном состоянии устройства через линейное реле протекает ток (контроль исправности линии), и реле II держит свои контакты в притянутом состоянии (пунктир на фиг. 154). При пуске устройства реле II сперва отпускает свои контакты, а затем под действием линей-

мкнутый контакт $3_1б$, обмотка реле 3_2 , контакты $3_3в$, $3_4в$ и т. д., контакт $4а$, минус). Реле 3_2 включается, блокирует себя во включенном состоянии через контакт $3_2а$, контактом $3_2б$ подготавливает цепь включения реле 3_3 , а контактом $3_3в$ разрывает цепь реле 3_1 и через верхнее положение этого контакта подготавливает цепь реле 2. При переходе контактов II вправо снова замыкается цепь реле 2, и оно, включившись, перево-



Фиг. 155. Принципиальная упрощенная схема устройства телеуправления Ленинградского института телемеханики (РТУ-7).

I и I' — линейные реле; II и II' — повторители линейных реле, 1 и $1'$ — пусковые реле; 2 и $2'$ — реле импульсов; $3б$ и $3г$ — контакты реле переключателей; 4 — замедленное реле; 5 — контакты управляющих ключей; 6 — сигнальные контакты объектов.

дит свои контакты 2 влево, подготавливая цепь включения нечетных реле переключателя. При следующем переводе контактов вправо включается реле 3_3 , которое выключает реле 3_2 и подготавливает цепь реле 3_4 и т. д. Таким образом при переключении контактов II каждый раз, когда реле II обесточивается и его контакты переходят в левое положение, происходит включение очередного реле переключателя и выключение предыдущего реле. Это переключение происходит до тех пор, пока не будут обойдены все реле переключателя. Последнее реле переключателя 4 не имеет блокирующего контакта. При переключении контактов II оно поэтому выключается и возобновляет цепь контактов $3в$, через которую получает питание реле 1. При последующем пере-

ключении контактов II это реле поэтому включится, и переключение реле 3_1 , 3_2 и 3_3 и т. д. начинается снова. Одновременно с включением реле 3 переключаются их контакты 3_{12} , 3_{22} , 3_{32} и т. д., изображенные в нижней части фиг. 154. Эти контакты, включенные в последовательную цепочку, переключают цепь контактов линейного реле I с цепи одного исполнительного реле на цепь другого, передавая этим реле сигналы, воспринимаемые с линии реле I .

Принципиальная упрощенная схема устройства телеуправления ВГИТС изображена на фиг. 155.

В спокойном состоянии устройства линейные реле I и I' находятся под током, контролируя таким образом исправное состояние линии. Цепь этих реле замыкается от плюса линейной батареи контролируемой установки через спокойное положение контактов $4'a$ и $1'a$, обмотку реле I' , провод B , обмотку реле I , спокойное положение контактов $1a$ и провод B на среднюю точку батареи. При пуске устройства из диспетчерского пункта срабатывает реле 1 (на схеме фиг. 155 не показано), которое своими контактами $1a$ разрывает цепь линейных реле и переключает ее со стороны диспетчерского пункта на цепь контактов $3d$ реле переключателя, соединенных с контактами управляющих ключей 5 . Одновременно пусковое реле 1 своими контактами $1b$ отсоединяет цепь контактов $3g$, ведущих к сигнальным реле. При выключении реле I и I' они выключают свои повторители II и II' , которые, переключая свои контакты, включают в релейных переключателях, как это было описано выше, реле предварительного импульса. На контролируемой установке включается, кроме того, реле $4'$, которое своими контактами $4'a$ переключает цепь линейных реле с плюса на среднюю точку линейной батареи. Это реле, будучи замедленным на выключение, остается включенным в течение всего времени, пока по линии передаются импульсы тока.

Одновременно с включением пускового реле 1 в диспетчерском пункте включается пульс-пара, которая своими контактами $2a$, включенными в цепь линейных реле, замыкает и размыкает эту цепь через определенные промежутки времени. К контактам линейных реле I и I' приключены, как уже говорилось, реле-повторители II и II' , которые, включаясь и выключаясь при каждом импульсе, получаемом линейным реле, своими контактами наряду с выполнением ряда других функций переключают реле переключателей. Это переключение осуществляется описанным выше путем в моменты интервалов между импульсами (т. е. в моменты, когда контакты II на схеме фиг. 154 находятся в левом положении).

При получении следующих за предварительным импульсов в диспетчерском пункте и на контролируемой установке сперва одновременно включаются реле 3_1 и $3'_1$, затем реле 3_2 и $3'_2$ и т. д. Контакты реле 3_1 , 3_2 и 3_3 и т. д., соединенные в последовательную цепочку, при своем переключении поочередно приключают в диспетчерском пункте к цепи линейных реле I и I' контакты командных ключей 5 , а на контролируемой установке осуществляют такое же переключение соответствующих управляющих реле, присоединяя их поочередно к контактам линейного реле I' . При этом линейные реле I и I' получают в зависимости от по-

ложения контактов командных ключей 5 в диспетчерском пункте ту или иную полярность тока и в соответствии с этим переводят свои контакты в ту или другую сторону. Линейное реле I' контролируемой установки, которое в рассматриваемом случае принимает сигналы, переключая свои контакты в соответствии с полярностью полученного импульса, дает тот или иной полюс местной батареи на цепочку контактов $3'2$, к которым присоединены обмотки управляющих реле. Эти реле в зависимости от полученной полярности тока переключают свои контакты и готовят цепи исполнения сигналов.

Проверка синхронности переключения реле-счетчиков и соответственно с этим правильности передачи сигналов происходит в конце цикла работы устройства путем проверки числа импульсов, переданных за время работы устройства. Исполнение полученных сигналов происходит только в том случае, когда число полученных импульсов точно будет соответствовать числу сигналов, на которое рассчитано устройство. Если число импульсов вследствие пропажи какого-либо импульса во время передачи, вследствие появления лишнего импульса или же вследствие отказа какого-либо из реле будет меньше или больше числа сигналов, то особые реле отменяют передачу и заставляют ее повториться снова.

Устройство РТУ-7, требуя меньшего количества реле по сравнению с устройством телеуправления фирмы Вестингауз, вместе с тем имеет некоторые принципиальные недостатки, которые снижают надежность его работы.

Первый из этих недостатков заключается в том, что линейные реле I и I' служат в этом устройстве одновременно и для переключения искателей и для передачи сигналов.

Благодаря этому работа устройства становится зависимой от исправности всех индивидуальных сигнальных и исполнительных цепей, что противоречит требованию о локализации повреждений в этих цепях, о котором говорилось в третьем разделе.

Если в любой из индивидуальных цепей произойдет разрегулировка контактов или обрыв в монтаже, в результате которого соответствующий командный ключ или сигнальный контакт объекта будут отсоединены от источника тока, то все устройство телеуправления выйдет из строя. Переключение релейных переключателей будет происходить при этом только до контакта, на котором произошло повреждение, так как при достижении этого контакта импульса тока не получится и дальнейшее движение прекратится.

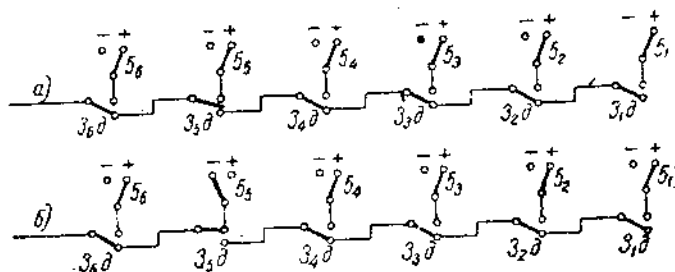
Следует указать, что повреждение в индивидуальной цепи остается скрытым до момента пуска устройства и таким образом выводит его из действия как раз тогда, когда оно нужно для передачи сигнала.

Вторым недостатком является применение цепочки последовательно соединенных контактов. Последовательного соединения большого числа контактов, вообще говоря, следует избегать в любой схеме, так как надежность такого соединения мала. В устройствах же телеуправления, где к надежности всех цепей предъявляются особо повышенные требования, последовательное соединение контактов является особо нецелесообразным. В устройстве ВГИТИС, где цепочки последова-

тельно соединенных контактов применяются во всех основных цепях, это является особенно неблагоприятным. Количество последовательно соединенных контактов в этом устройстве равно количеству передаваемых сигналов и даже при разделении сигналов на группы составляет несколько десятков.

Разрегулировка или загрязнение любого из контактов в цепочке вызывает вывод из строя всего устройства телеуправления, так как это прерывает передачу сигналов (фиг. 156, а). Это повреждение, так же как и повреждение в индивидуальных цепях, остается скрытым до момента пуска устройства.

От загрязнения или разрегулировки контактов в цепочке может быть предусмотрена защита, при помощи которой повреждение це-



Фиг. 156. Неисправности в последовательной цепочке контактов.

почки будет своевременно сигнализироваться. Это легко сделать, предусмотрев реле, цепь которого в нерабочем состоянии устройства будет замкнута через все контакты цепочки. При разрегулировке или загрязнении любого из контактов цепочки цепь этого реле будет прервана, и реле отпадет. Этим можно воспользоваться для замыкания цепи какого-либо звукового или светового сигнала.

Однако такая защита, внося усложнение в схему, целесообразна только в диспетчерском пункте, где всегда имеется дежурный персонал. На контролируемой установке при отсутствии персонала такая сигнализация бесполезна.

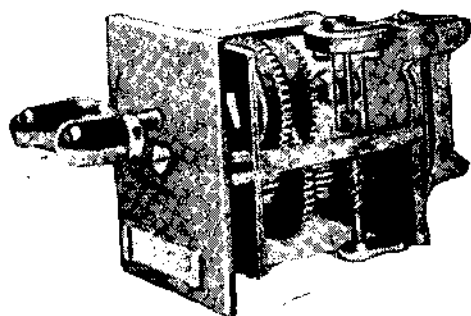
Помимо уменьшения надежности работы устройства применение цепочки последовательных контактов может привести также и к передаче ряда неправильных сигналов. Это может произойти в том случае, когда при разрегулировке одного из контактов цепочки он останется в верхнем положении. Если, например, такая разрегулировка произойдет на контакте реле $3_5д$, как это изображено на фиг. 156, б, то при работе устройства цепочка контактов будет иметь в течение первых пяти шагов одну и ту же полярность, соответствующую положению командного ключа 5_5 и независимую от положения командных ключей 5_1 , 5_2 , 5_3 и 5_4 . Таким образом в этом случае на контролируемую установку будет послан ряд неверных импульсов, которые вызовут неправильные переключения. В случае, изображенном на фиг. 156, б, в линию вместо положительной полярности, соответствующей положению

первых четырех командных ключей, будет послана отрицательная полярность. Очевидно, что в случае разрегулировки последнего контакта цепочки неверные сигналы могут быть посланы для всех объектов.

39. Устройства телеуправления кодового типа

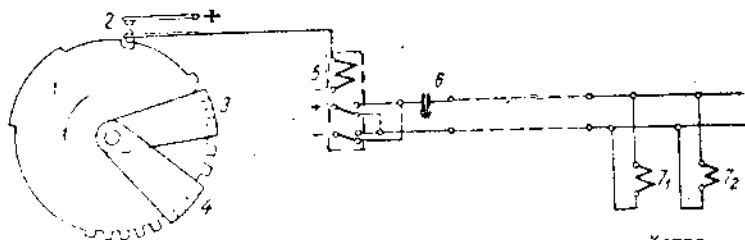
а) Устройство телеуправления селекторного типа фирмы Джeneralь Электрик К°. Селекторное устройство фирмы Джeneralь Электрик К° является одним из первых устройств телеуправления кодового типа.

В этом устройстве применяются почти без всяких изменений аппараты железнодорожной избирательной телефонии. Принцип действия системы состоит в том, что при выборе какого-либо объекта на линию посылаются 14 вызывных импульсов тока последовательно чередующейся полярности. Выбор определяется наличием среди этих импульсов двух перерывов.



Фиг. 157. Селекторный ключ.

Посылка импульсов из диспетчерского пункта осуществляется при помощи поворотных ключей. Внешний вид селекторного ключа изображен на фиг. 157. При повороте его головки на 90° она при помощи



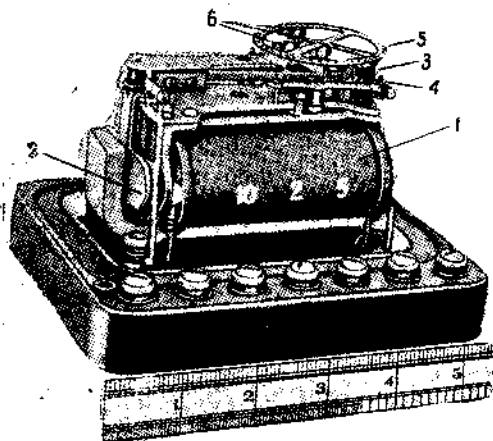
Фиг. 158. Принципиальная схема селекторного устройства.

1 — контактный диск; 2 — контакт; 3—4 — сегменты; 5 — передающее реле; 6 — конденсатор; 7, 7₁, 7₂ — электромагниты приемных селекторов.

пружины возвращается назад, вращая одновременно контактный диск с зубцами (7 на фиг. 158). При вращении диска зубцы проходят мимо контактов 2 и, замыкая и размыкая их, включают и выключают реле 5. Последнее, переключая свои контакты, производит перезаряд конденсатора 6, включенного в линию связи последовательно с обмотками 7 приемных поляризованных реле; когда контакты реле 5 притянуты, конденсатор 6 заряжается в одном направлении и через обмотки приемных реле проходит ток одной полярности. При отпущенных контактах реле 5 происходит перезарядка конденсатора и через обмотки приемных реле проходит ток другой полярности. Скорость вращения диска 7

подбирается таким образом, чтобы процесс перезаряда конденсатора 6 за время нахождения контактов реле 5 в отпущенном или притянутом состоянии не успевал закончиться и импульсы перезаряда следовали один за другим без перерыва.

При прохождении мимо контактов 2 сектора 3 или 4 контакты будут замкнуты более продолжительное время. Процесс перезаряда конден-



Фиг. 159. Селекторное реле.

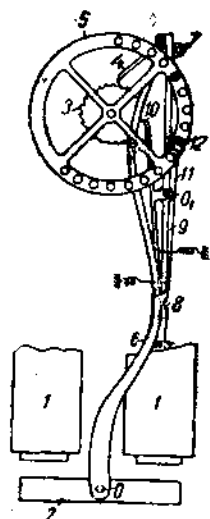
сатора за это время закончится, и в обмотках реле 7 наступит перерыв тока.

Передвигая сегменты, можно получить перерывы тока в любом месте между импульсами и осуществлять таким образом любые комбинации групп импульсов. При посылке 14 импульсов (три зубца перекрываются сегментами) возможное количество комбинаций составляет

$$N = \frac{14 \cdot 13}{2} = 91.$$

Посылка обратных сигналов с контролируемой установки осуществляется при помощи специального моторчика. Этот моторчик соединен с четырьмя дисками такого же устройства, как и у управляющих ключей. При изменении положения какого-либо из объектов на контролируемой установке моторчик автоматически включается и, вращая соответствующий диск, посылает в линию группу импульсов, присвоенную данному объекту.

Импульсы, посылаемые по линии, воспринимаются в приемном пункте поляризованными реле, изображенными на фиг. 159 и 160. Эти реле состоят из двух горизонтально расположенных электромагнитов 1, перед сердечниками которых помещается якорь 2, вращающийся вокруг вертикальной оси. К якорю прикреплен изогнутый



Фиг. 160. Принцип действия селекторного реле.

0 и 0₁ — оси вращения; 1 — электромагниты; 2 — якорь; 3 — храповик; 4 — собачка; 5 — кодовый диск; 6 — изогнутый рычаг; 7 и 8 — штифты рычага; 9 — двухплечий рычаг; 10 — задерживающая собачка; 11 — задерживающая пружина; 12 — штифт кодового колеса.

рычаг 6. При каждом импульсе якорь в зависимости от направления тока притягивается то к одному, то к другому электромагниту, вращаясь вокруг оси O . При этом рычаг 6 нажимает своими штифтами 7 и 8 на двухплечий рычаг 9. Последний, вращаясь вокруг оси O_1 , при помощи собачки 4 и храпового колеса 3 проворачивает кодовый диск 5 на один шаг. Диск имеет пружину, стремящуюся возвратить его в первоначальное положение, и кодовые штифты 6, вставленные в отверстия кодового диска в тех местах, где код импульсов, присвоенный данному аппарату, имеет паузу. При переходе якоря из одного положения в другое кодовый диск задерживается в занимаемом положении собачкой 10, которая отпускает его только на короткий момент при прохождении якоря электромагнита через нейтральное положение. Так как при нормальном чередовании импульсов якорь проходит через нейтральное положение очень быстро, то кодовый диск не успевает возвратиться в начальное положение.

При перерыве посылки импульсов якоря всех селекторных реле остаются в нейтральном положении. Кодовые диски при этом под действием пружин стремятся возвратиться в начальное положение. Это удается сделать всем дискам кроме тех, у которых в отверстиях, соответствующем паузе, вставлен штифт. Этот диск задерживается специальной задерживающей пружиной 11, которая при протекании тока через электромагниты отклоняется вместе с якорем, а при перемещении последнего в нейтральное положение встает на пути штифтов кодового диска.

При поступлении второй группы импульсов задержанный диск продолжает свое движение вперед, в то время как диски всех остальных селекторных реле начинают это движение снова. Таким образом после посылки трех групп импульсов в конечное положение придет только кодовый диск того селектора, который настроен на посылаемую комбинацию импульсов. В своем конечном положении кодовый диск замыкает соответствующую управляющую цепь и приводит в исполнение посланную команду.

Для возвращения диска селектора после исполнения команды в начальное положение спустя некоторое время после посылки третьей группы импульсов тока посылается восемнадцатый импульс, который, притягивая на время якорь к электромагниту, поворачивает диск на небольшой угол, после чего он под действием пружины возвращается в нулевое положение.

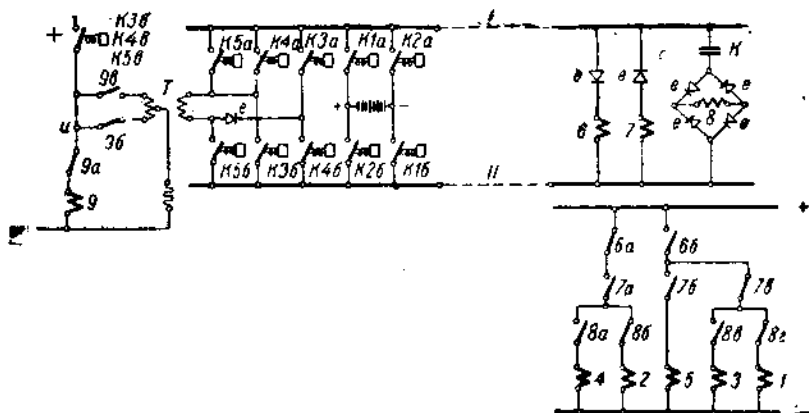
Процесс посылки кода и совершение какой-либо операции требует около 9 сек.

Устройство требует наличия трех свободных проводов между диспетчерским пунктом и контролируемой установкой, допуская работу нескольких контролируемых установок по одной и той же линии на одно приемное устройство в диспетчерском пункте. При этом общее число контролируемых установок не должно превышать 15 с общим числом контролируемых объектов не более 50—60.

б) Устройство телеуправления фирмы Вестингауз с токовым кодом. Принципиальная схема выбора при помощи токового кода изображена на фиг. 161.

Передающая часть состоит из источника постоянного тока, трансформатора T и прерывающего реле 9, служащих для получения переменного тока и выбирающих ключей. Приемная часть имеет выбирающие реле 6, 7 и 8 с вентильными устройствами и ряд исполнительных реле.

Выбор исполнительных реле производится путем посылки одного из следующих пяти импульсов: положительного, отрицательного, переменного тока, положительных полуволн переменного тока и отрицательных полуволн.



Фиг. 161. Принцип действия устройства телеуправления с токовым кодом фирмы Вестингауз.

$K1, K2, K3, K4$ и $K5$ — выбирающие ключи; 1, 2, 3, 4 и 5 — исполнительные реле; 6, 7 и 8 — выбирающие реле; 9 — прерывающее реле; T — трансформатор; K — конденсатор; e — вентильное устройство.

Посылка импульсов постоянного тока осуществляется нажимом выбирающих ключей $K1$ или $K2$, которые присоединяют провода I и II, идущие на контролируемую установку к аккумуляторной батарее. Импульсы переменного тока посылаются путем нажима выбирающих ключей $K3, K4$ или $K5$. Переменный ток получается при помощи переключающего реле 9 и трансформатора T следующим образом:

При нажмении ключей $K3, K4$ и $K5$ замыкается цепь тока от плюса через контакты $K3a, K4a$ или $K5a$ к точке a и от последней по двум параллельным ветвям: в одной ветви через контакты 9б и нижнюю половину первичной обмотки трансформатора T и в другой ветви через контакты 9а и обмотку реле 9. Реле 9 при этом притягивает свой якорь и, замыкая контакты 9в, размыкает контакты 9а и 9б. Этим оно включает верхнюю половину первичной обмотки трансформатора T , причем, как можно видеть из схемы фиг. 161, направление тока в этой половине обмотки будет противоположно направлению тока в нижней половине обмотки. Кроме того, контактами 9а реле 9 размыкает свою собственную цепь. При исчезновении тока в реле 9 его контакты 9б и 9а опять замыкаются, а контакт 9а размыкается. Опять включается нижняя половина первичной обмотки трансформатора T и снова замыкается

цепь реле 9, вследствие чего это реле снова переключает свои контакты. Такое переключение контактов реле 9 и одновременно попеременное включение обеих половин первичной обмотки трансформатора *T* будет продолжаться все время, пока будут включены контакты одного из выбирающих ключей *K3*, *K4* или *K5*. Во вторичной обмотке трансформатора при этом будет получаться переменный ток.

При включении выбирающего ключа *K5* вторичная обмотка трансформатора *T* приключается к линии и в нее поступает переменный ток. При включении выбирающих ключей *K3* или *K4* вторичная обмотка трансформатора присоединяется к линии через вентильное устройство *e* (обычно применяется купроксный выпрямитель), который пропускает только одну полуволну переменного тока. В зависимости от включения ключа *K3* или *K4* ток в линии протекает в том или другом направлении.

На контролируемой установке импульсы тока воспринимаются реле 6, 7 и 8. Обмотки реле 6 и 7 включены последовательно с вентильными устройствами и реагируют на ток определенного направления. Реле 6 реагирует на ток, направленный от провода *I* к проводу *II*, а реле 7 — на ток, направленный от провода *II* к проводу *I*. Реле 8 включено последовательно с конденсатором и реагирует только на переменный ток. При включении выбирающих ключей *K1* или *K2* будут работать реле 6 или 7, при включении ключа *K3* реле 6 и 8, при включении ключа *K4* реле 7 и 8 и, наконец, при включении ключа *K5* все три реле вместе. Контакты реле 6, 7 и 8 соединены последовательно друг с другом таким образом, что при работе реле они замыкают цепь соответствующего исполнительного реле, номер которого соответствует номеру нажатого ключа. Так, например, при нажатии ключа *K1* и срабатывании на контролируемой установке реле 6 замкнется цепь: плюс, замкнутые контакты 6б, спокойные контакты 7в и 8г, обмотка исполнительного реле 1, минус. Как можно видеть из схемы фиг. 161, эта цепь будет единственной возможной. При нажатии ключа 4 сработают, как уже указывалось выше, реле 7 и 8. При этом замкнется цепь: плюс, спокойные контакты 6а, замкнутые контакты 7а и 8а, обмотка реле 4, минус. Эта цепь будет также единственной из всех возможных.

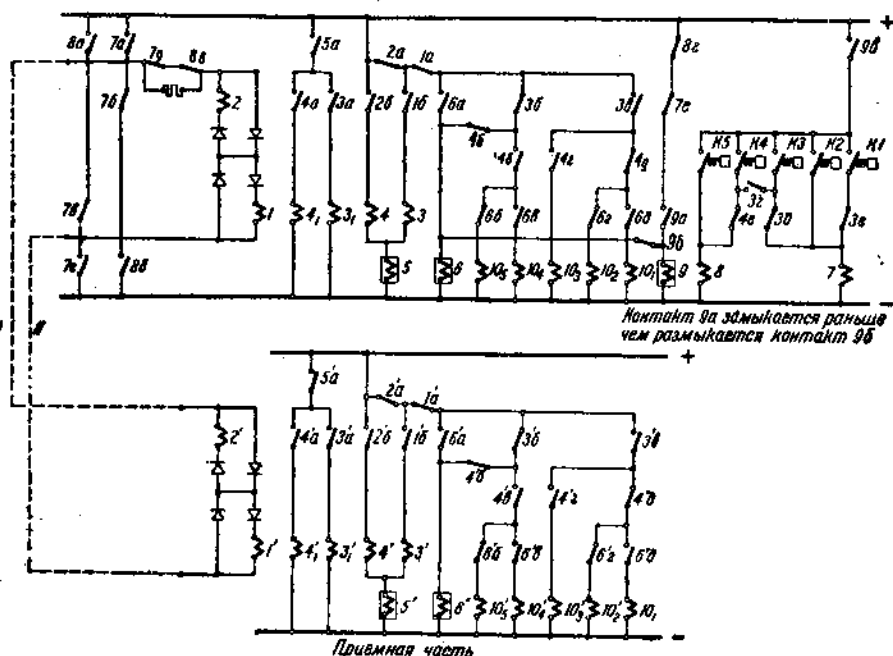
Описанным путем при посылке одного импульса можно производить посылку пяти сигналов. При большем количестве сигналов они разбиваются на группы по пяти объектов в группе и выбор производится при помощи посылки двух импульсов последовательно друг за другом. При этом первый импульс выбирает одну из пяти групп аппаратов, а второй импульс один из аппаратов, принадлежащих к этой группе. При количестве сигналов больше 25 выбор производится путем посылки трех импульсов.

Цепи, изображенные на схеме фиг. 180, служат в описываемом устройстве только для выбора объектов. Управление ими и посылка обратного сигнала осуществляются так же, как и в устройстве телеуправления фирмы Вестингауз комбинационного типа (стр. 204).

Передающая и приемная части, изображенные на схеме фиг. 161, имеются как в диспетчерском пункте, так и на контролируемой установке. При посылке из диспетчерского пункта выбирающего импульса

для управления на контролируемой установке описанным выше путем выбирается одно из исполнительных реле. Это реле при своем включении посылает в диспетчерский пункт контрольный импульс, который таким же путем производит выбор одного из имеющихся там контрольных реле. Последнее, срабатывая, включает контрольную лампочку, помещенную около соответствующей выбирающей кнопки.

Передающая часть



Фиг. 162. Принципиальная схема устройства телеуправления фирмы Вестингауз с временным и поляризованным кодом.

1, 1', 2 и 2' — линейные реле; 3, 3', 4 и 4' — выбирающие реле; 5, 5', 6 и 6' — замедленные реле; 7 и 8 — посылающие реле; 9 — сильно замедленные реле; 10 и 10' — исполнительные реле.

Загорание контрольной лампочки укажет диспетчеру на выбранный объект. Если объект был выбран правильно, то нажмим на главный управляющий ключ диспетчер посылает на контролируемую установку управляющий импульс и осуществляет желаемое переключение. После осуществления переключения он получает обратный сигнал, и операция переключения на этом заканчивается.

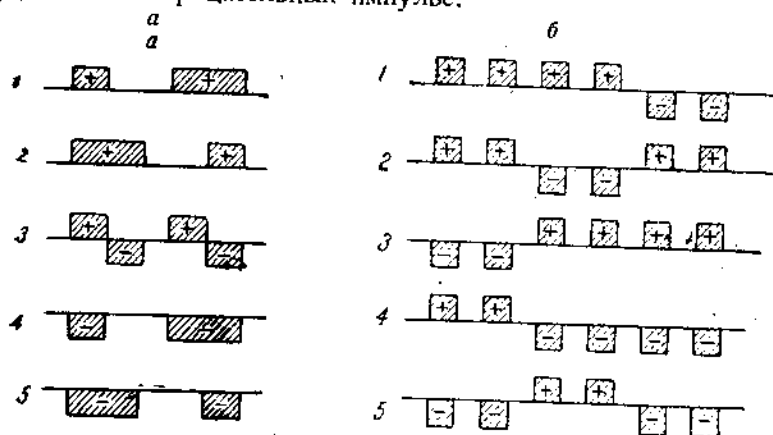
в) Устройство телеуправления фирмы Вестингауз с временным и поляризованным кодом. Принципиальная схема устройства телеуправления с временным и поляризованным кодом изображена на фиг. 162. Выбор объектов осуществляется путем посылки импульсов различной полярности и различной длительности. Посылка импульсов происходит при нажатии на одну из выбирающих кнопок K1—K5.

Выбор объектов осуществляется исполнительными реле $10_1—10_5$. Для проверки правильности выбора применяется метод послышки контрольных импульсов.

При помощи схемы, изображенной на фиг. 162, возможен выбор пяти объектов. При некотором изменении схемы и применении другого кода число объектов может быть увеличено.

Для выбора объектов применяются следующие коды:

- а) Короткий положительный импульс.
- б) Длинный положительный импульс.
- в) Короткий положительный и короткий отрицательный импульсы.
- г) Короткий отрицательный импульс.
- д) Длинный отрицательный импульс.



Фиг. 163. Схемы кодов, применяемых в устройстве телеуправления фирмы Вестингауз.

Распределение этих кодов для выбора и контроля выбора указано на фиг. 163,а.

Предположим, что диспетчер выбирает объект № 1. Выбор этого объекта производится послышкой короткого положительного импульса. Контроль выбора осуществляется обратной послышкой длинного положительного импульса.

В нормальном состоянии в устройстве находятся во включенном состоянии реле 9 и реле 6 и 6', заблокированные через свои контакты 9а и 6а. Цепь этих реле образуется от плюса источника тока через контакты 2а, 1а, 3б и 4б к обмотке реле 6 (передатчика) и 6' (приемника) через контакты 9б в обмотку реле 9.

При включении выбирающей кнопки К1 через контакты 9в и 3е замыкается цепь реле 7. Это реле, замыкая свои контакты 7а и 7г и размыкая контакты 7б и 7в, присоединяет линейный провод I к плюсу источника тока, а линейный провод II — к минусу, давая таким образом в линию положительный импульс тока. Одновременно реле 7 разрывает своими контактами 7е цепь обмотки реле 9. Это реле остается, однако, во включенном положении, так как оно выполнено с замедлением на выключение. При появлении в линии положительного им-

пульса в диспетчерском пункте и на контролируемой установке срабатывают одновременно линейные реле 1 и 1'. При включении реле 1 и 1' они своими контактами 1б и 1'б включают последовательную цепь реле 3 и 5, 3' и 5', а контактами 1а и 1'а разрывают цепь реле 6 и 6'. Эти реле, однако, остаются во включенном положении, так как они выполнены, так же как и реле 9, с замедлением на отпусkanie. Реле 3 и 3', 5 и 5' включаются, причем реле 3 и 3' блокируются во включенном состоянии через свои вторые обмотки 3₁ и 3'₁ и контакты 5а, 5'а, 3а и 3'а. При включении реле 3 оно своими контактами 3е разрывает цепь реле 7, и последнее выключается, прекращая одновременно импульс тока в линии. Контактными 7е реле, кроме того, снова дает ток в обмотку реле 9.

При прекращении тока в линии реле 1 и 1' выключаются и своими контактами 1б и 1'б разрывают цепи реле 5 и 5'. Эти реле остаются, однако, в течение некоторого времени включенными, так как они выполнены с замедлением на выключение. Помимо этого реле 1 и 1', замыкая свои контакты 1а и 1'а, дают снова питание реле 6 и 6' и, кроме того, через контакты 3в, 4д и 6д передающей части и контакты 3'в, 4'д и 6'д в приемной части замыкают цепи реле 10₁ и 10'₁. Эти реле, включившись, блокируются во включенном состоянии через вторые обмотки, не показанные на фиг. 162. По истечении некоторого промежутка времени реле 5 и 5' отпускают и разорвут цепи реле 3 и 3'. Эти реле выключатся и разорвут цепи исполнительных реле 10₁ и 10'₁, которые останутся включенными через свои вторые обмотки. На этом процесс выбора будет закончен.

При нажатии на кнопку К2 действие схемы происходит таким же образом, за исключением того, что реле 7 не выключается при включении реле 3, так как цепь его замыкается помимо контактов 3е. Поэтому цепь реле 7 остается замкнутой до тех пор, пока не выключится реле 9, контакт 9в которого находится в цепи реле 7. Благодаря этому на линии получится длинный положительный импульс. Так как реле 6, имеющее меньшее замедление на выключение, чем реле 9, успеет выключиться раньше, чем разомкнутся реле 1 и 1', то при выключении реле 1 и 1' в цепи исполнительных реле через контакты 3в, 4д и 6д замкнутся цепи реле 10₂ и 10'₂. При отпусkании реле 3 через контакты 3б и 4б замыкается цепь реле 6 и 9, которые, включаясь, снова блокируются через свои контакты 6а и 9а.

При воздействии на кнопку К3 на линию первоначально при включении реле 7 посылается положительный импульс. При срабатывании реле 3 оно одновременно с размыканием цепи реле 7 своими контактами 3г замыкает цепь реле 8. Это реле, включая свои контакты 8а и 8б, дает на линию отрицательный импульс тока. При этом в диспетчерском пункте и на контролируемой установке включаются реле 2 и 2', 4 и 4'. Реле 4 при своем включении разрывает цепь реле 8 и последнее, отпуская свои контакты, прекращает отрицательный импульс тока на линии. При выключении реле 2 через его контакты 2а и контакты 1а, 3в и 4г замыкаются цепи реле 10₃ и 10'₃.

Кнопки К4 и К5 действуют так же, как кнопки К1 и К2, за исключением того, что в этом случае вместо реле 7, 1 и 3 работают реле 8,

2 и 4. При этом, как можно видеть из фиг. 162, происходит выбор исполнительных реле 10_4 и 10_5 .

Приемная и передающая части, изображенные на фиг. 162, имеются как в диспетчерском пункте, так и на контролируемой установке. По окончании процесса выбора со стороны контролируемой установки включается передающая часть, а со стороны диспетчерского пункта приемная часть, и происходит передача контрольного импульса. Эта передача производится так же, как и при выборе, за исключением того, что замыкание цепей реле 7 и 8 производится не кнопкой, а контактами одного из реле $10'$, выбранного и оставшегося во включенном состоянии во время процесса выбора.

При получении контрольного импульса в диспетчерском пункте загорается лампочка, которая указывает диспетчеру, какой объект выбран на контролируемой установке. Если выбор был произведен правильно, то диспетчер устанавливает управляющий ключ объекта в положение, соответствующее желаемому переключению, и нажимает главный ключ. При этом на контролируемую установку посылается описанным выше путем код импульсов, который, воздействуя на управляющее реле, производит переключение объекта. При переключении объекта его сигнальные контакты передают в диспетчерский пункт при помощи кода импульсов обратный сигнал. При получении этого кода в диспетчерском пункте включается сигнальное реле, которое, включая звуковой сигнал и переключая сигнальные лампочки, указывает диспетчеру на переключение объекта.

Кодовая схема, указанная на фиг. 163, а, применяется в тех случаях, когда число сигналов не превышает пяти. При большем числе сигналов применяется кодовая схема, изображенная на фиг. 163, б. В этой схеме каждый код содержит три импульса, причем за каждым импульсом выбора следует такой же импульс контроля.

Время, необходимое для передачи кода, составляет: в схеме фиг. 163, а — $1/4$ сек. на каждый код и в схеме фиг. 163, б — $1/2$ сек. на каждый код.

г) Устройство телеуправления с дуальным кодом фирмы Сименс. Принципиальная схема устройства телеуправления с дуальным кодом для четырех импульсов изображена на фиг. 183.

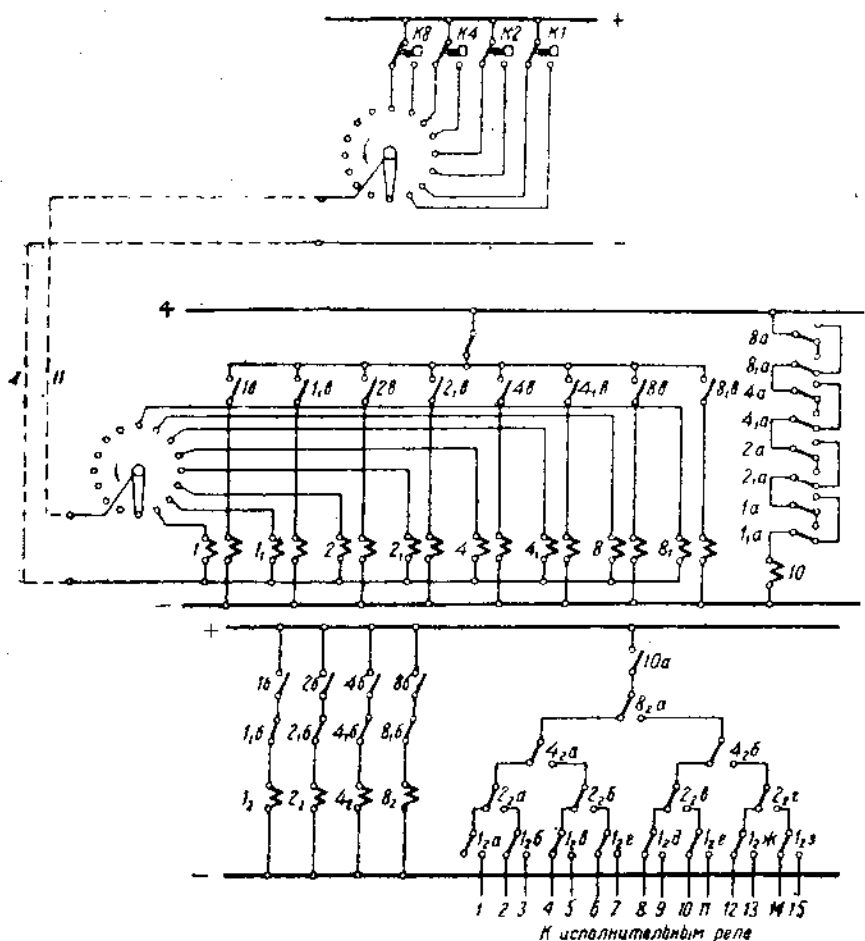
На контролируемой установке и в диспетчерском пункте имеются переключатели мртного типа, описанные на стр. 204.

В диспетчерском пункте к контактам переключателей присоединены контакты ключей $K1-K8$, которые, включаясь в определенной комбинации для каждого сигнала, дают при прохождении щетками переключателей соответствующих контактов серию импульсов в линию.

Проверка правильности передачи сигналов производится путем посылки двойных импульсов (см. стр. 188).

Предположим, что передается команда № 12. Эта команда составляется из чисел 8 и 4, соответственно чему в диспетчерском пункте контакты ключей $K1$ и $K2$ не нажимаются и будут находиться в левом положении (пауза — импульс), а контакты ключей $K4$ и $K8$ нажимаются и переходят в правое положение (импульс — пауза).

При прохождении щеток переключателей мимо соответствующих контактов импульсы будут переданы на контролируемую установку группы выбирающих реле 1—8. В соответствии с полученными импульсами в этой группе будут включены реле 1_1 и 2_1 , 4 и 8. При своем вклю-



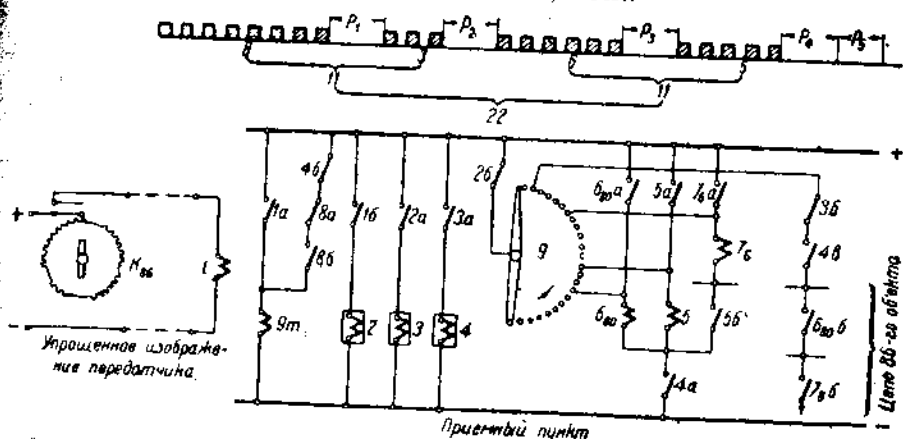
Фиг. 164. Принципиальная схема устройства телеуправления с дуальным кодом фирмы Сименс.

$K1, K2, K4$ — выбирающие ключи; $1, 1_1, 1.1, 2, 2_1, 2.1$ и т. д. — выбирающие реле; 10 — реле проверки правильности передачи сигналов.

чении эти реле заблокируются через свои контакты 1_1b , 2_1b , $4b$ и $8b$. Одновременно реле 4 и 8 своими контактами $4b$ и $8b$ замкнут цепи реле 4_2 и 8_2 . Эти реле, переключив свои контакты, образуют в контактной пирамиде цепь: замкнутый контакт 8_2a , замкнутый контакт 4_2b , отпущенный контакт 2_2g , отпущенный контакт $1_2ж$, цепь 12-го объекта. При правильной передаче сигнала одновременно с срабатыванием реле 8 и 4 замкнется цепь проверяющего реле 10 (плюс, рабочее по-

ложение ¹ контактов $8a$, спокойное положение контактов 8_{1a} , рабочее положение контактов $4a$, спокойное положение контактов 4_{1a} , спокойное положение контактов $2a$, рабочее положение контактов 2_{1a} , спокойное положение контактов $1a$, рабочее положение контактов 1_{1a} , обмотка реле 10 , минус). Реле 10 , сработав, замкнет контакт $10a$ в цепи пирамиды контактов и даст ток в цепь 12-го объекта.

Обратный сигнал об исполнении команды передается таким же образом. Обычно команда передается за первую половину оборота щеток переключателей, а обратный сигнал — за вторую половину оборота. Время, необходимое для передачи одной команды и получения обратного сигнала, составляет около 0,4 сек.



Фиг. 165. Принципиальная схема устройства телеуправления с декадным кодом фирмы АЕГ.

1 — линейное реле; 2, 3 и 4 — замедленные реле; 5 — реле контроля, 6 — реле выбора десятков; 7 — реле выбора единиц; 8 — пульс-реле; 9 — искатель; 9т — электромагнит искателя; K_{88} — выбирающий ключ.

д) Устройства телеуправления с декадным кодом фирмы АЕГ. Принципиальная схема работы устройства телеуправления с декадным кодом приведена на фиг. 165.

Выбор объекта осуществляется посылкой серии импульсов, между которыми расположены три паузы: P_1 , P_2 и P_3 . Расположение этих пауз между импульсами и производит выбор определенного объекта. Проверка правильности передачи импульсов осуществляется по сумме импульсов. В качестве переключателей применяются телефонные искатели.

Посылка импульсов и получение пауз производятся таким же путем, как и в распределительном устройстве телеуправления фирмы Сименс с шаговыми искателями (см. стр. 224).

Для упрощения схемы цепи посылки на фиг. 165 заменены ключом, сходным с описанным выше селекторным ключом. Серия импульсов для выбора объекта составляется следующим образом (см. верхнюю часть фиг. 165): сперва посылается число импульсов, соответствующее

¹ На схеме фиг. 164 показаны спокойные положения цепочки контактов.

щее числу десятков номера выбираемого объекта, затем следует пауза P_1 , во время которой это число фиксируется на контролируемой установке включением специального реле. После этого посылается число импульсов, дополняющее посланное первоначально число импульсов до одиннадцати, и следует пауза P_2 , во время которой производится проверка правильности передачи первых одиннадцати импульсов. Вслед за этим посылается число импульсов, соответствующее числу единиц номера выбираемого аппарата, пауза P_3 , во время которой это число фиксируется на контролируемой установке, и далее число импульсов дополнительное до одиннадцати. Во время следующих за этим пауз P_4 и P_5 производится проверка правильности передачи вторых одиннадцати импульсов, исполнение команды и возвращение всех аппаратов в нулевое положение.

На контролируемой установке импульсы воспринимаются линейным реле 1, которое при каждом импульсе замыкает и размыкает свои контакты 1а и 1б. Контакт 1а включает и выключает ток в электромагните 9т искателя 9, который при каждом импульсе передвигается на один контакт. Контакт 1б линейного реле 1 включает и выключает катушку реле 2. Это реле выполнено с таким замедлением на выключение, чтобы при нормальном поступлении импульсов реле 2 не успевало отпустить своих контактов. Реле 2 своими контактами 2а включает замедленное реле 3, которое в свою очередь своими контактами 3а включает замедленное реле 4.

К контактам искателя 9 присоединяются выбирающие реле 6 и 7. Первые десять контактов искателя и реле 6 (10—90) используются для выбора десятков, а вторые десять контактов и реле 7 (1—9) — для выбора единиц.

На схеме фиг. 165 изображен выбор 86-го объекта, в соответствии с чем серия посылаемых импульсов состоит из $8 + 3$ и $6 + 5$ импульсов. При передаче первых восьми импульсов искатель 9 переводит свои щетки с контакта на контакт, однако соответствующие выбирающие реле не включаются, так как реле 2 держит свой якорь притянутым и его контакты 2б разомкнуты. После передачи восьми импульсов щетки искателя будут стоять на восьмом контакте. В этот момент следует пауза P_1 , во время которой реле 2 успевает отпустить свой якорь. Контакты 2б его замыкаются и включают цепь реле выбора десятков 6_{80} , которое блокирует себя во включенном состоянии через свой контакт 6_{80a} и фиксирует выбранный десяток контактом 6_{80b} . Во время передачи следующих трех импульсов щетки искателя переходят на 11-й контакт. На этом контакте следует пауза P_2 , во время которой контакты 2б опять замыкаются и включают цепь контрольного реле 5. Это реле своими контактами 5а блокирует себя во включенном состоянии, а контактами 5б включает цепи реле выбора единиц. Если количество импульсов, переданных при выборе десятков, будет больше или меньше одиннадцати, то замыкание контактов 2б произойдет не на 11-м контакте искателя, а на каком-либо другом контакте. Контрольное реле 5 останется при этом разомкнутым, и дальнейший процесс выбора будет невозможным, так как цепь реле выбора единиц будет разомкнута контактами 5б.

Если первые 11 импульсов были переданы правильно, то при передаче вторых 11 импульсов во время паузы P_3 происходит включение реле 7_а, которое контактами 7_{аа} блокирует себя во включенном состоянии, а контактами 7_{аб} фиксирует число единиц.

По окончании передачи серии импульсов искатель 9 останавливается на 22-м контакте и во время пауз P_4 и P_5 происходит последовательно друг за другом выключение реле 2, 3 и 4. При этом после выключения реле 2 и 3 через их контакты 2б и 3б и замкнутые еще контакты 4в, 6_{80б} и 7_б замыкается цепь 86-го исполнительного реле, и последнее осуществляет намеченное переключение. При выключении реле 4 оно своими контактами 4в разрывает управляющую цепь, контактами 4а разрывает цепь фиксирующих реле и контрольного реле, отчего последние возвращаются в спокойное положение и контактами 4б включает пульс-реле 8а—8б, которые возвращают искатель в нулевое положение. На этом процесс управления заканчивается.

Передача обратного сигнала осуществляется так же, как и управление, но в этом случае импульсы посылаются с контролируемой установки и воспринимаются в диспетчерском пункте.

Описанный выше способ приема сигналов можно назвать способом «суммирующего искателя», так как полученные импульсы выбора десятков и единиц суммируются все на одном искателе. Фирма АЕГ применяет при декадном коде еще и другой способ приема сигналов, который она называет способом «корреспондирующих искателей».

В этом способе импульсы воздействуют в приемном устройстве не на один искатель, а на несколько искателей (фиг. 166). Построение серии импульсов здесь такое же, как и в способе с суммирующим искателем.

Рассмотрим, как и выше, процесс передачи 86-го сигнала. Серия импульсов для этого сигнала состоит, как уже указывалось, из $8 + 3$ и $6 + 5$ импульсов.

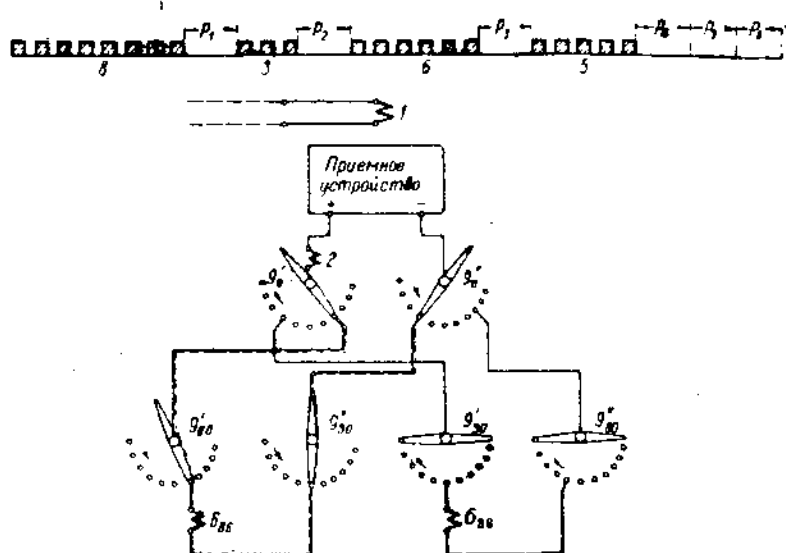
Первые восемь импульсов устанавливают выбирающий искатель десятков 9' на восьмой контакт. Во время паузы P_1 происходит переключение цепей движения на корреспондирующий искатель десятков 9'', который следующими тремя импульсами устанавливается на третий контакт. Во время паузы P_2 происходит переключение цепей движения на искатели единиц. При следующей серии импульсов приходит в движение выбирающий искатель восьмого десятка 9'₈₀, который был выбран искателем 9' при первой серии импульсов. Этот искатель останавливается на шестом контакте. Во время паузы P_3 цепи движения переключаются на корреспондирующий искатель единиц третьего десятка 9''₃₀, выбранный корреспондирующим искателем десятков. Этот искатель останавливается на пятом контакте.

Как видно из фиг. 166, через щетки и указанные контакты выбирающих и корреспондирующих искателей образуется единственно возможная цепь, в которой находится обмотка исполнительного реле 8₈₆. При любых сбоях искателей никаких цепей не образуется.

Находящееся в той же цепи квитирующее реле 2 посылает одновременно с действием реле 8₈₆ обратный импульс к передатчику, который заканчивает процесс передачи. Пауза P_6 , во время которой происхо-

дит действие реле δ_{88} , т. е. выполнение переданного импульса управления или сигнализации выбирается таким образом, чтобы в случае телеуправления приводимый в действие объект успел выполнить только одно переключение.

Пауза P_4 имеет своим назначением предупредить выполнение операции при переходе искателей через нужный контакт в случае возникновения на линии лишнего импульса и осуществляет таким образом проверку правильности суммарного числа импульсов. Во время паузы P_6 происходит возвращение искателей в нулевое положение.

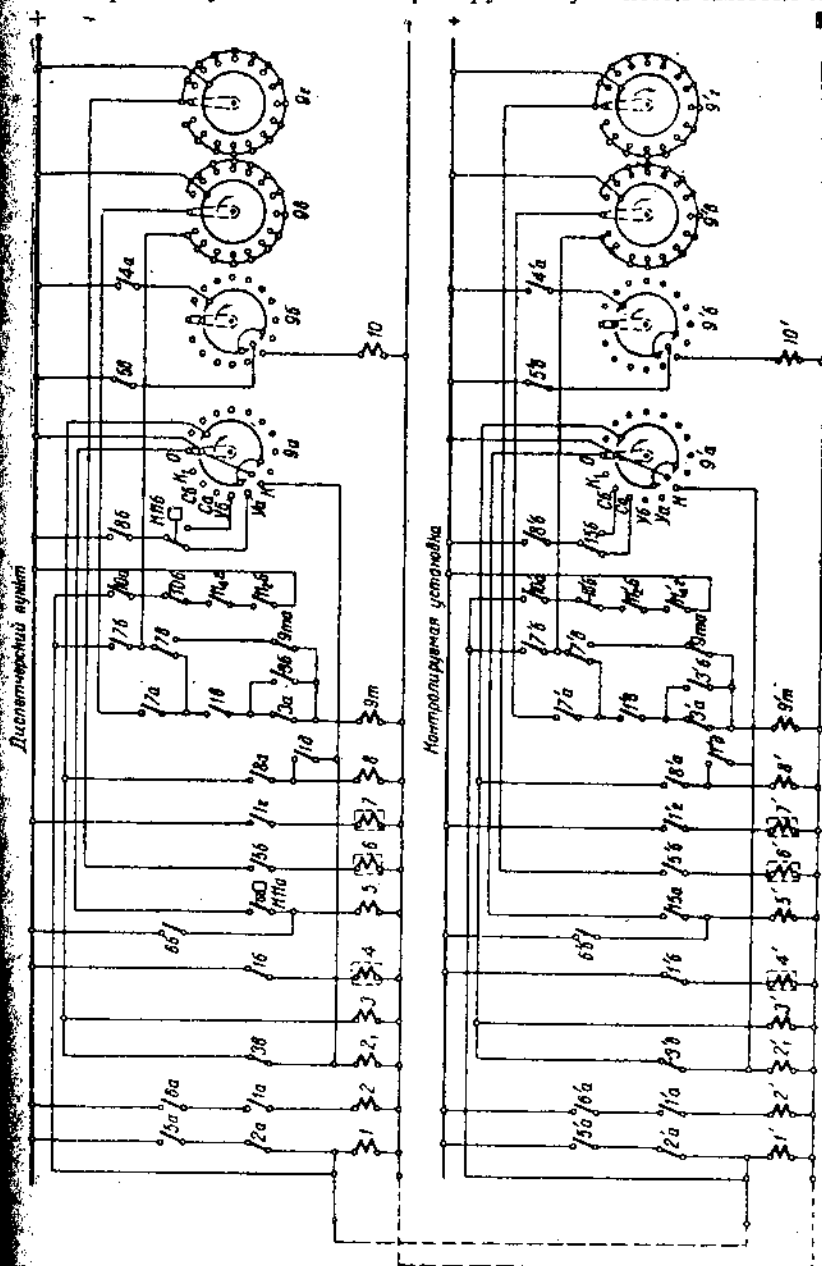


Фиг. 166. Упрощенная схема устройства телеуправления с корреспондирующими искателями.

1 — линейное реле; 9' — выбирающие искатели; 9'' — корреспондирующие искатели.

е) Устройство телеуправления с зависимо-декадным кодом фирмы Броун-Бовери. В устройстве телеуправления фирмы Броун-Бовери применяется декадный код другого типа. Передача кода осуществляется на девяти контактах, каждому из которых присвоено определенное значение чисел от 1 до 9. Выбор объекта производится так же, как и в системе АЕГ, посылкой увеличенной паузы. Первая пауза определяет число десятков, а вторая — число единиц номера сигнала. Для проверки правильности передачи применяется комплементарная защита. Так как число контактов для образования кода равно только девяти, то для выбора объектов при однократном цикле искателя могут применяться не все числа от 1 до 100, а только те числа, у которых число единиц больше числа десятков. Вследствие этого могут быть использованы: во втором десятке числа 12, 13, 14 и т. д., в третьем десятке — числа 23, 24, 25 и т. д., в четвертом десятке — числа 34, 35, 36 и т. п. Это ограничение числа передаваемых сигналов окупается более простой схемой выбора.

Схема цепей передачи и проверки приведена на фиг. 167. В диспетчерском пункте и на контролируемой установке имеется по одному



Фиг. 167. Принципиальная схема устройства фирмы Броун-Бовери с зависимым десятичным кодом.

1 и 1' — реле приема импульсов; 2 и 2' — реле передачи импульсов; 3 и 3' — реле передачи сигналов; 4 и 4' — реле приема сигналов; 5 и 5' — пусковые реле; 6 и 6' — реле приема пускового импульса; 7 и 7' — реле приема пускового импульса; 8 и 8' — реле приема контрольного импульса; 9 и 9' — искатели; 9a и 9' — электромагниты искателей; 10 и 10' — реле передачи контрольного импульса; K/1 — управляющий ключ; 11 — реле выбора; 15 — промежуточное реле.

искателю и по девять реле, часть из которых специального типа с контактами, имеющими выдержку времени на замыкание.

Движение искателей и передача импульсов осуществляются при помощи реле приема и передачи импульсов 1 и 1', 2 и 2'. Перед пуском искателей в ход производится предварительная проверка синфазного положения обоих искателей. Эта проверка осуществляется в нулевом положении искателя путем автоматической посылки удлиненного синфазизирующего импульса продолжительностью около 0,1 сек. при воздействии на любой из управляющих ключей *K11*. При переключении каждого из ключей его контакты *K11a* замыкают цепь пускового реле 5 (плюс, щетка и пусковой контакт контактного ряда 9а искателя диспетчерского пункта, замкнутые контакты *K11a*, обмотка реле 5, минус). Пусковое реле 5 при своем включении контактами 5б замыкает цепь реле передачи пускового импульса 6, имеющего контакты с замедлением на включение (на фиг. 167 реле, имеющие замедление на включение, заключены в пунктирный прямоугольник). Кроме того, реле 5 своими контактами 5а дает положительный полюс на линию и на реле приема импульсов 1 и 1'. Эти реле включаются и контактами 1г и 1'г включают реле приема пускового импульса 7 и 7', имеющие, так же как и реле 6, замедление на включение. Если искатели стоят в нулевом положении, то при включении реле 7 и 7' через щетки и нулевые контакты контактных рядов 9в и 9'в, замкнутые рабочие контакты 7а, 1в, 7'а и 1'в замыкаются цепи электромагнитов искателей 9т и 9'т. По истечении некоторого времени, соответствующего времени выдержки реле 6, это реле своими контактами 6а через замкнутые контакты 2а разрывает ток в линии. При этом выключаются реле 1 и 1' и, размыкая свои контакты, выключают ток в реле 7 и 7' и в электромагнитах искателей 9т и 9'т. Искатели переводят свои щетки в первое положение. Дальнейшее движение искателей осуществляется при помощи реле 1, 2 и 1', которые образуют своеобразную пульс-пару. При выключении реле 2 оно дает своими контактами 2а плюс источника тока на линию. При этом снова включаются реле 1 и 1'. Эти реле своими контактами 1в и 1'в включают через щетки, соединенные параллельно контакты контактных рядов 9в и 9'в искателей и контакты 7в и 7'в реле 7 и 7' (эти реле находятся в отпущенном состоянии и контакты 7в и 7'в их переведены влево) цепи электромагнитов искателей. Реле 1 своим контактом 1а через включенные контакты 6а одновременно включает реле 2. Это реле при своем включении контактами 2а разрывает ток на линии и выключает реле 1 и 1', которые переводят искатели на следующий контакт. При выключении реле 1 оно выключает реле 2. Это реле снова дает своими контактами 2а ток на линию и снова включает реле 1 и 1' и т. д., передвигая таким образом искатели с контакта на контакт. Это передвижение осуществляется со скоростью около 30 шагов в секунду.

Реле 6 за время движения искателей остается включенным, блокируясь через контакты 5б реле 5 и блокируя в свою очередь это реле своими контактами 6б. Перед приходом искателей в нулевое положение цепь реле 6 кратковременно выключается в контактном ряду 9г искателей, и это реле отпадает, одновременно разрывая цепь реле 5. Искатели благодаря этому, придя в нулевое положение, останавливаются.

Если в момент пуска искателей какой-либо из них не находится в нулевом положении, то при срабатывании реле 7 цепь электромагнита искателя 9т замыкается не через контакты 7в, а помимо них непосредственно от контактов реле 7 (плюс источника тока, соединенные параллельно контакты контактного ряда 9в, контакт 7в, находящийся в правом положении, контакт 9та, обмотка 9т, минус). Контакт 9та является самопрерывающим контактом электромагнита 9т. Поэтому при образовании такой цепи электромагнит искателя получает ток, прерывающийся его собственными контактами, и быстро перемещает щетки искателя в нулевое положение.

Одновременно с замыканием цепи электромагнита искателя через контакты 7б плюс источника тока подается на линию. Благодаря этому пусковой импульс продолжается до тех пор, пока оба искателя не придут в нулевое положение. Только после этого будет снят ток с линии и реле 1 и 1', отпустив свои контакты, смогут перевести искатели в первое положение.

Для посылки и приема увеличенных пауз служат реле передачи и приема сигналов 3, 4, 3' и 4' и контактные ряды 9а, 9б, 9'а и 9'б. Рассмотрим посылку сигнала из диспетчерского пункта. При нажатии управляющего ключа контакты ряда 9а соответствующие по своему значению числу десятков и числу единиц номера сигнала соединяются с плюсом источника тока. Например: для посылки сигнала № 24 с плюсом должны быть соединены второй и четвертый контакты искателя. При переходе щеток искателя на эти контакты получит ток реле 3. Одновременно через контакты 3в оба раза будет замкнута цепь обмотки 2₁, являющейся второй обмоткой реле 2.

Контакты 3б и 3в реле 3 имеют замедленное действие. Поэтому реле 2 при своем включении останется во включенном состоянии в течение всего времени, пока контакты 3в будут замкнуты, несмотря на то, что реле 1 будет уже выключено и его контакты 1а разомкнуты. Более длительное включение реле 2 вызовет увеличенную паузу в передаче импульсов. Длина этой паузы составляет в устройстве телеуправления фирмы Броун-Бовери, так же как и длина пускового импульса, около 0,1 сек.

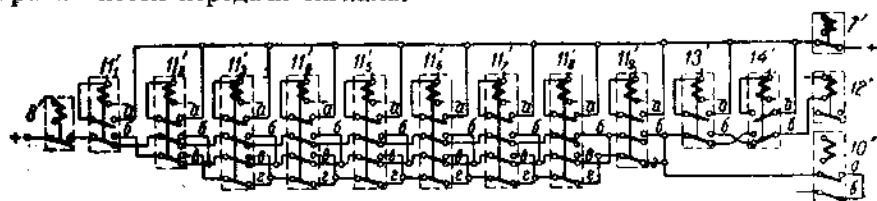
Увеличенная пауза воспринимается в диспетчерском пункте и на контролируемой установке реле приема сигналов 4 и 4'. При нормальном следовании импульсов эти реле, выполненные с замедлением на включение и включаемые контактами 1б, не успевают замкнуть своих контактов. При получении увеличенной паузы контакты 1б и 1'б замыкаются на более продолжительное время, и контакты реле 4 рядов 9б и 9'б искателей дают ток реле выбора, присоединенным к соответствующим контактам искателей. Реле выбора, срабатывая, блокируются во включенном состоянии через свои контакты, и фиксируют таким образом число десятков и единиц посланного сигнала.

Для проверки правильности передачи сигналов в устройстве телеуправления фирмы Броун-Бовери применяется защита по сумме импульсов. Эта проверка осуществляется в определенном положении искателей, обозначенном на схеме фиг. 167 буквой К. Контакт К

находится перед контактами $Уа$ и $Уб$, на которых производится исполнение посланного сигнала.

На контакте $К$ в пункте приема импульсов происходит включение реле контрольного импульса 10 , которое при своем включении производит посылку импульса тока в пункт посылки импульсов. В рассматриваемом случае передачи сигнала из диспетчерского пункта на контролируруемую установку в положении $К$ произойдет включение реле $10'$ на контролируемой установке, так как в диспетчерском пункте цепь реле 10 будет разорвана контактами $5в$ пускового реле.

Посылка контрольного импульса происходит, однако, только в том случае, когда число сработавших выбирающих реле на контролируемой установке не больше двух, что является вторичным контролем правильности передачи сигнала.



Фиг. 168. Схема проверки приема импульсов в устройстве телеуправления фирмы Броун-Бовери.

7' — реле приема пускового импульса, 8' — реле приема контрольного импульса; 11' — 11' — реле выбора; 12' — общее управляющее реле; 13' и 14' — реле приема управляющих импульсов.

Этот вторичный контроль осуществляется при помощи схемы, изображенной на фиг. 168. Как можно видеть из этой схемы, цепь контактов реле $10'$ замыкается только в том случае, когда в цепи выбора включено не больше двух выбирающих реле (реле десятков и единиц). При включении трех выбирающих реле цепь контактов реле $10'$ размыкается на контактах третьего включенного реле (контакты $11г$), благодаря чему посылка контрольного импульса не происходит.

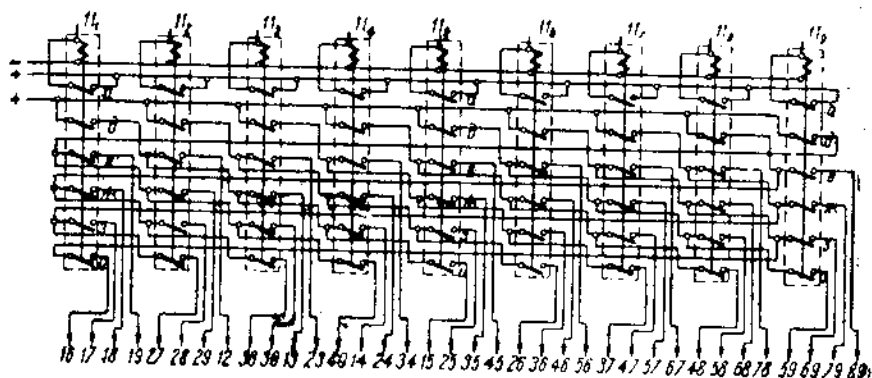
Реле 10 и $10'$ имеют по одному рабочему и одному спокойному контакту. Спокойные контакты выполнены с замедлением (фиг. 167). При включении реле $10'$ с момента замыкания его контактов $10'а$ и до момента размыкания контактов $10'б$ образуется цепь: плюс, цепочка контактов выбирающих реле $11'$, которая на фиг. 167 изображена условно двумя контактами $11'б$ и $11'г$, не успевший еще разомкнуться контакт $10'б$, замкнутый контакт $10'а$, линия.

В диспетчерском пункте в положении щеток искателя на контакте $К$ включается обмотка 2_1 реле 2 (плюс, щетки и контакт $К$ контактного ряда $9а$ искателя, обмотка 2_1 , минус). Реле 2 получает при этом постоянное питание, благодаря чему работа пульс-пары $1, 2, 2'$ и движение искателей прекращаются. Если щетки искателей пришли в положение $К$ одновременно, то контрольный импульс, посылаемый реле $10'$, включив и выключив реле 1 и $1'$, передвинет искатели в следующее положение, дав им возможность двигаться дальше. Если же щетки искателей разошлись, то искатель передающего пункта, придя в по-

ложение K , не получит контрольного импульса, и оба искателя прекратят свое движение. Благодаря этому сигнал на принимающем пункте не будет выполнен. После остановки искатели при помощи специальных реле, не показанных на фиг. 167, возвращаются в нулевое положение, и передача автоматически повторяется.

Схема выбора представлена на фиг. 169. При включении любых двух выбирающих реле образуется цепь одного из исполнительных реле. Так, например, при включении реле 11_2 и 11_4 через контакты 11_2d и 11_4e образуется цепь исполнительного реле 24-го объекта.

Цепь исполнительного реле замыкается контактами общего управляющего реле 72. Последнее может сработать (фиг. 168) только в слу-



Фиг. 169. Схема выбора в устройстве телеуправления фирмы Броун-Бовери.

чае правильного приема сигнала, включения реле приема контрольного импульса $8'$ и включения одного из реле приема управляющего импульса $13'$ или $14'$.

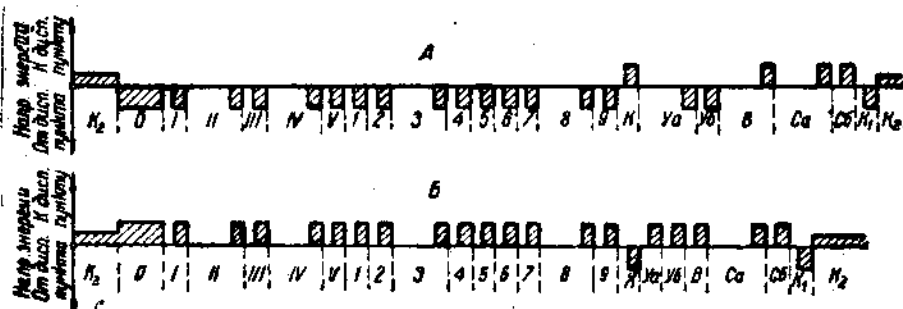
При помощи девяти выбирающих реле $11_1 — 11_9$, включенных по схеме фиг. 169, осуществляется передача только 36 сигналов. В устройстве телеуправления фирмы Броун-Бовери применяется поэтому предварительный выбор из десяти цепей по схеме с пятью реле, построенной по такому же принципу, что и схема фиг. 169. Это позволяет увеличить число сигналов до 360.

Построение серии импульсов при наличии предварительного выбора изображено на фиг. 170: верхняя часть A относится к случаю управления и передачи обратного сигнала и нижняя B — только обратного сигнала.

В спокойном положении устройства линия обтекается током для контроля ее исправного состояния. При пуске устройства сперва посылается удлиненный пусковой импульс, затем следуют импульсы предварительного и основного выбора с увеличенными паузами, определяющими выбор соответствующего объекта. После окончания выбора с приемного пункта посылается контрольный импульс. После этого импульса следуют импульсы исполнения с увеличенной паузой, определяющей характер переключения объекта (включить или выключить).

чить). После переключения с контролируемой установки посылаются импульсы обратного сигнала с увеличенной паузой, определяющей характер сигнала (включено или выключено). После обратного сигнала следует квитирующий импульс, который деблокирует выбирающие реле и подготавливает устройство для передачи следующего сигнала.

ж) Кодово-распределительное устройство телеуправления фирмы АЕГ. Все устройства телеуправления кодового типа имеют тот недостаток, что за один цикл работы устройства может быть передан только один сигнал. Этот недостаток не является существенным при управлении или командовании, так как в этом случае редко встречается необходимость передавать несколько сигналов одновременно.



Фиг. 170. Построение кода в устройстве телеуправления фирмы Броун-Бовери

0 — пусковой импульс; I—V — импульсы предварительного выбора; 1—9 — импульсы основного выбора; K — контрольный импульс; Ya и Yb — управляющие импульсы; Ca и Cb — импульсы обратного сигнала; K₁ — квитирующий импульс; K₂ — ток контроля линии; B — время переключения объекта.

При обратной сигнализации этот недостаток является, однако, весьма существенным, так как в этом случае потребность в одновременной передаче сигналов может иметь место довольно часто (при одновременном выключении нескольких масляных выключателей во время аварии). Кодовые устройства телеуправления будут передавать эти сигналы друг за другом, причем для передачи каждого сигнала потребуются отдельный цикл работы устройства.

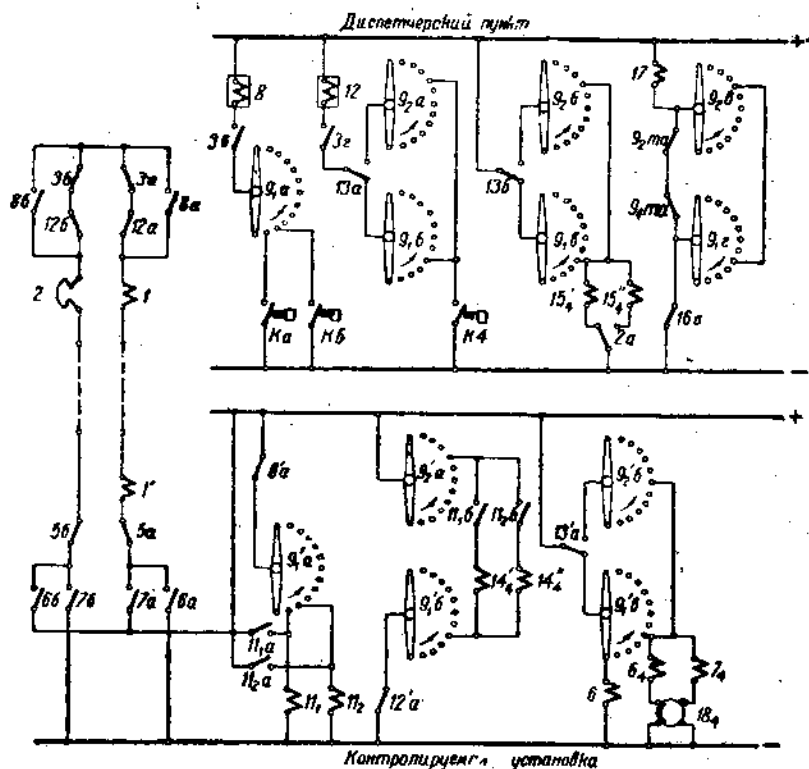
Применение кодовых устройств телеуправления имеет еще и тот недостаток, что при передаче обратных сигналов необходимо применять специальные схемы, чтобы обеспечить передачу одновременно возникших сигналов последовательно друг за другом путем запасаения сигналов, не могущих быть переданными в первую очередь.

Указанные недостатки устранены в новом устройстве телеуправления фирмы АЕГ, в котором передача командных сигналов и сигналов управления происходит по схеме с корреспондирующими искателями, а передача обратных сигналов осуществляется распределительным методом.

Упрощенная принципиальная схема этого устройства изображена на фиг. 171. На этой фигуре для упрощения рассмотрения приведены сигнальные и управляющие цепи только одного объекта, а кроме того, опущен целый ряд реле, имеющих второстепенное значение.

Построение серии импульсов при передаче управляющих и обратных сигналов изображено на фиг. 172.

В спокойном состоянии устройства провода связи между диспетчерским пунктом и контролируемой установкой находятся под током. Эти провода питаются со стороны контролируемой установки через

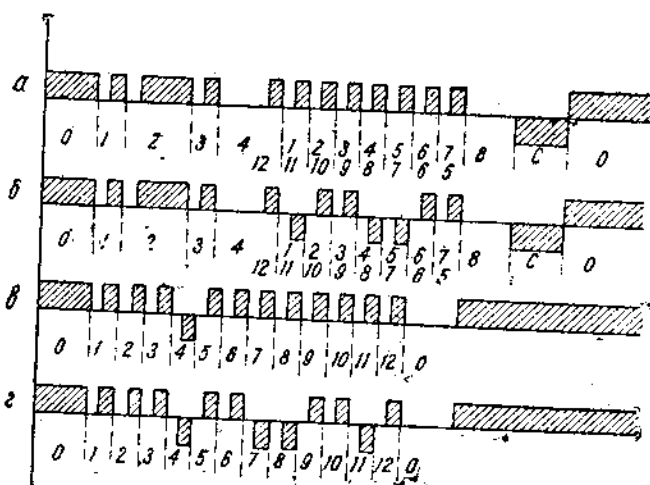


Фиг. 171. Упрощенная принципиальная схема кодово-распределительного устройства телеуправления фирмы АЕГ.

7 и 7' — линейные реле; 2 — поляризованное линейное реле; 3 — импульсное реле; 5 — лусковое реле контролируемой установки; 6 и 7 — реле послыски обратных сигналов; 8 — реле увеличенного импульса; 9₁ и 9₂ — искатели; 9₁т и 9₂т — электромагниты искателей; 11₁ и 11₂ — общие реле включения и выключения; 12 — реле увеличенной паузы; 13 и 13' — переключающее реле; 14' и 14'' — исполнительные реле; 15' и 15'' — реле приема обратных сигналов; 16 — сильно замедленное реле; 17 — контрольное реле; 18 — сигнальный контакт объекта.

замкнутые рабочие контакты 6а и 6б реле 6 (находящегося в нулевом положении искателей под током), спокойные контакты 5а и 5б реле 5, не показанного на схеме фиг. 171, спокойные контакты 12а и 12б реле 12 и спокойные контакты 3а и 3б импульсного реле 3, также не показанного на фиг. 171. В провода связи включены линейные реле 7 и 7' и поляризованное реле 2.

Рассмотрим процесс управления объектом, расположенным на контролируемой установке. Предположим, что все объекты на контролируемой установке, начиная с третьего и кончая 12-м, включены. Объекты 1 и 2 отсутствуют, так как контакты 1 и 2 искателей используются для посылки команды, определяющей характер переключения (так же как в описанном выше устройстве телеуправления Броун-Бовери контакты $Уа$ и $Уб$).



Фиг. 172. Построение серии импульсов в кодово-распределительном устройстве телеуправления фирмы АЕГ.

$а$ — все объекты включены, посылается сигнал для выключения четвертого объекта; $б$ — выключены объекты 7, 8 и 11; посылается сигнал для выключения четвертого объекта; $в$ — обратная сигнализация, выключен четвертый объект; $г$ — обратная сигнализация, выключены 4, 7, 8 и 11 — объекты.

Пусть диспетчер желает выключить объект № 4. Для этого он должен одновременно нажать пусковую кнопку, не показанную на схеме фиг. 171, общую кнопку $Кб$ команды выключения и кнопку $К4$ объекта (все эти кнопки могут быть совмещены в одном управляющем ключе с соответствующим количеством контактов).

При воздействии на пусковую кнопку включается реле 3 и своими контактами $3а$ и $3б$ прерывает ток в линии. Линейные реле 1 и 1' при этом отпадают и при помощи своих контактов покоя и промежуточных реле, не показанных на фиг. 171, включают электромагниты искателей 9_1 и $9'_1$. Эти искатели делают один шаг, переводя свои щетки на первый контакт. После этого реле 3, образуя пульс-пару с электромагнитом искателя 9_1 и линейным реле 1, передвигает этот искатель и соответствующий ему искатель $9'_1$ на контролируемой установке с одного контакта на другой, одновременно прерывая и включая своими контактами $3а$ и $3б$ ток в линии и линейных реле 1 и 1'. При достижении щетками искателей второго контакта, к которому в диспетчерском пункте присоединена кнопка $Кб$ команды выключения, через щетки и второй контакт контактного ряда $9_1а$ искателя включается

реле 8, имеющее замедление на выключение. Это реле, включая свои контакты 8а и 8б, шунтирует контакты 3а и 3б. Линия останется поэтому замкнутой независимо от выключения реле 3 на все время замедления реле 8, вследствие чего на контролируруемую установку будет послан увеличенный импульс тока (фиг. 172).

На контролируемой установке при получении увеличенного импульса отпадает реле 8' (на фиг. 171 не показано), которое своими контактами 8'а соединяет с плюсом щетку искателей в контактном ряду 9'а и включает реле 11₂. Это реле блокируется во включенном состоянии через свой контакт 11₂а и фиксирует таким образом получение команды о выключении.

После отпадения реле 8 движение искателей 9₁ и 9'₁ продолжается до контакта, соответствующего выбираемому объекту. В рассматриваемом случае это будет четвертый контакт. На этом контакте через кнопку К4 и щетки контактного ряда 9₁б замыкается цепь реле 12, имеющего, так же как и реле 8, замедление на выключение. Контакты 12а и 12б этого реле включены последовательно с контактами 3а и 3б импульсного реле, и поэтому при включении реле 12 в линии получается увеличенная пауза между импульсами.

При этой паузе на контролируемой установке отпадает реле 12' (на фиг. 171 не показано), которое своими контактами 12'а присоединяет щетки контактного ряда 9'₁б искателя к минусу источника тока. Одновременно с этим действуют не показанные на фиг. 171 реле 13 и 13', которые своими контактами 13а, 13б и 13'а выключают цепи щеток искателей 9₁ и 9'₁ и включают цепи щеток искателей 9₂ и 9'₂. Одновременно другими своими контактами, не показанными на фиг. 171, реле 13 и 13' переключают электромагниты искателей 9₁ и 9'₁, 9₂ и 9'₂ таким образом, что при следующих импульсах начинают двигаться щетки искателей 9₂ и 9'₂, а щетки искателей 9₁ и 9'₁ остаются в четвертом положении.

Искатели 9₂ и 9'₂ передвигают свои щетки до тех пор, пока они не достигнут восьмого положения (число 8 является дополнительным к числу 4 до постоянного числа в 12 импульсов, служащего для проверки правильности передачи). В восьмом положении через кнопку К₄ и щетки 9₂а снова замыкается цепь реле 12, которое, размыкая свои контакты 12а и 12б, снова дает увеличенную паузу. При этом на контролируемой установке снова отпадает реле 12' и замыкает свой контакт 12'а. Если передача импульсов происходила правильно, то в этот момент щетки искателя 9'₁ будут стоять на четвертом контакте, а щетки искателя 9'₂ — на восьмом контакте. Поэтому при отпадании реле 12' через контакты 11₂б общего реле выключения 11₂ замкнется цепь исполнительного реле 14'', которое произведет выключение четвертого объекта.

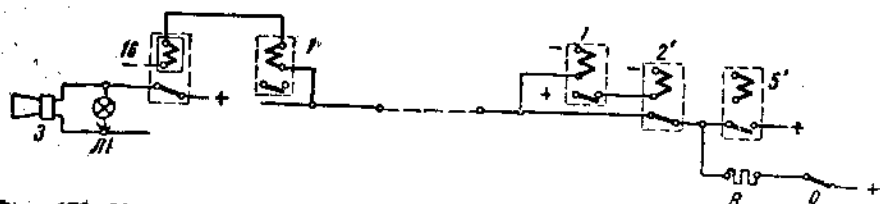
В диспетчерском пункте одновременно с этим через восьмое положение щеток 9₂б образуется цепь сигнальных реле 15'₄ и 15''₄.

По выключении реле 12 линия опять будет замкнута. Полярность тока, протекающего по ней, будет зависеть от положения контактов реле 6₄ и 7₄, связанных с сигнальными контактами объекта. В рассматриваемом случае объект, переключив свои контакты 18₄ и вклю-

чив реле 7, изменит полярность тока в линии. Поляризованное реле 2 переключит при этом свои контакты и включит реле 15₄, сигнализирующее выключенное состояние объекта.

В течение некоторого времени, определяемого выдержкой времени сильно замедленного реле 16, не показанного на фиг. 171, искатели остаются в указанном положении. По истечении этого времени сильно замедленные реле отпадают и, включая электромагниты искателей через их самопрерывающие контакты, возвращают их в нулевое положение, подготавливая таким образом устройство к передаче следующего сигнала. Одновременно с этим на контролируемой установке отпадает оставшееся заблокированным общее реле выключения 17.

Построение серии импульсов для описанного процесса выключения четвертого объекта изображено на фиг. 172,а. На фиг. 172,б изображена



Фиг. 173. Контроль линии в устройстве телеуправления фирмы Броун-Бовери.
1 и 1' — линейные реле приема импульсов; 2' — реле передачи импульсов; 5' — пусковое реле; 0 — контакт, замыкающийся в нулевом положении искателей; 16 — реле контроля линии; Л1 — сигнальная лампочка повреждения линии; З — звуковой сигнал повреждения линии (ср. со схемой фиг. 167).

стрия импульсов для другого случая, когда так же посылается команда для выключения четвертого объекта. Однако на контролируемой установке не все объекты находятся во включенном состоянии: седьмой, восьмой и одиннадцатый объект выключены.

Передача импульсов происходит в этом случае так же, как и в предыдущем, с той разницей, что при прохождении щетками искателей 9'1 и 9'2 контактов, к которым присоединены реле 6 и 7 седьмого, восьмого и одиннадцатого объектов, вместо реле 6 будут срабатывать реле 7. Благодаря этому на линии в эти моменты будет изменяться полярность тока. Поляризованное реле 2, переключая при этом свои контакты, будет включать в диспетчерском пункте вместо сигнальных реле 15' сигнальные реле 15''.

Таким образом, несмотря на то, что из диспетчерского пункта на контролируемое устройство передается сигнал только для одного объекта, обратная сигнализация осуществляется для всех объектов сразу. Это достигается тем, что сигнальные реле присоединяются параллельно к контактам обоих корреспондирующих искателей 9_1 и 9_2 , соединенным друг с другом попарно вместе. Соединение контактов искателей 9_1 и 9_2 сделано таким образом, что контакт 4 искателя 9_1 соединяется с контактом 8 корреспондирующего ему искателя 9_2 , контакт 5 искателя 9_1 соединяется с контактом 7 искателя 9_2 и т. д. В рассматриваемом случае передачи команды четвертому объекту сигнализация положения третьего и четвертого объекта происходит

во время движения щеток искателя 9_1 . Этот искатель, достигнув четвертого контакта, останавливается. Поэтому сигнализация положения остальных объектов производится через контакты искателя 9_2 при движении его щеток от первого до восьмого контакта. При этом на первом контакте сигнализируется положение 12-го объекта, на втором — положение 11-го объекта и т. д.

При передаче только обратной сигнализации участие в передаче принимает один искатель. Это достигается тем, что в этом случае реле 12 выключается на все время работы искателей, благодаря чему передачи замедленных пауз и переключения искателей во время работы устройства не происходит. Построение серии импульсов для этого случая изображено на фиг. 172, а и б.

Передача импульсов обратной сигнализации происходит в этом случае следующим образом:

При изменении положения объекта на контролируемой установке включается не показанное на фиг. 171 пусковое реле 5, которое своими контактами 5а и 5б разрывает линию. При этом описанным выше путем искатели 9_1 и $9'_1$ переходят на первый контакт. Дальнейшее движение искателей производится, как и выше, при помощи реле 3, 1 и 1'. При прохождении щеток искателей мимо соответствующих контактов реле 6 и 7 изменяют полярность тока в линии соответственно положению контролируемых ими объектов, а поляризованное реле 2, переключая свои контакты, включает в зависимости от полученной полярности тока соответствующие сигнальные реле.

При достижении искателем 9_1 нулевого контакта в диспетчерском пункте отпускает не показанное на фиг. 171 сильно замедленное реле 16, которое замыкает свои контакты 16а. При этом через замкнутые контакты $9_{1та}$ и $9_{2та}$ электромагнитов искателей 9_1 и 9_2 , которые замыкаются только в нулевом положении этих искателей, включается контрольное реле 17. Это реле, замыкая свои контакты, включает сигнальные цепи и воспроизводит сигналы, полученные с контролируемой установки. Реле 17 включается только через нулевое положение искателей, которые для перехода в это положение должны сделать определенное количество шагов. Таким образом реле 17 играет роль реле комплементарной защиты и сигналы в диспетчерском пункте будут воспроизведены только в том случае, если передача их происходила правильно. Роль реле 17 как реле комплементарной защиты сохраняется и при передаче управляющих сигналов. В этом случае цепь этого реле замыкается, однако, не через нулевые контакты искателя, так как они при передаче обратного сигнала будут находиться не в нулевом положении, а через корреспондирующее положение щеток их контактных рядов $9_{1г}$ и $9_{2г}$, которые соединены друг с другом специальными проводниками.

В схеме на фиг. 171 число передаваемых сигналов определяется числом контактов искателей. Можно, однако, используя тот же принцип, передавать сигналы при помощи декадного кода или же разделить все сигналы на группы и передавать сигнал только в одну из групп. В этом случае число сигналов ничем не ограничивается.

Применение описанного выше принципа позволяет использовать код с максимальной экономичностью. Для передачи всех четырех сигналов для каждого объекта (включить, выключить, включено, выключено) здесь необходим только один контакт искателя.

Благодаря использованию четырех качеств импульсов: обоих полярностей тока, продолжительности импульса и продолжительности паузы, передача управляющих и обратных сигналов может производиться параллельно во времени, что позволяет максимально сократить время передачи.

40. Вспомогательные схемы

Выше были рассмотрены способы передачи сигналов и способы контроля правильности передачи. Этим, однако, не ограничиваются функции устройств телеуправления. Как указывалось в 29-м разделе настоящей части, помимо выполнения своей основной задачи: правильной и надежной передачи сигналов, устройства телеуправления должны выполнять еще целый ряд второстепенных функций, к которым относятся: контроль исправности линии, контроль работы самого устройства телеуправления, запасание сигналов при повреждениях устройства и т. п.

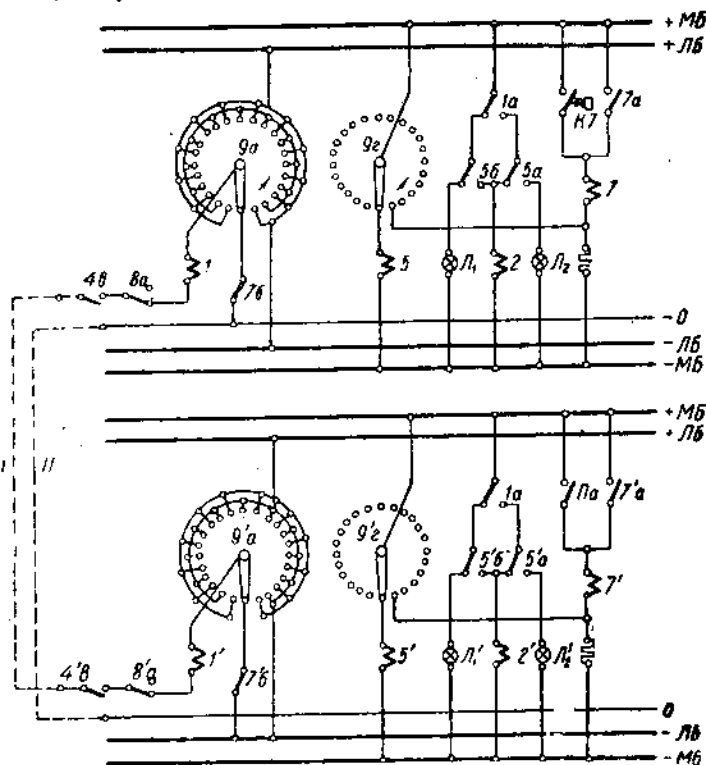
В настоящем разделе мы рассмотрим ряд схем, при помощи которых эти второстепенные задачи выполняются. При этом мы не будем рассматривать все применяемые способы, а ограничимся рассмотрением только некоторых из них.

а) Контроль исправности линии и сигнализация работы устройства. Контроль исправного состояния линии обычно осуществляется в устройствах телеуправления путем пропускания через провода связи тока при спокойном положении устройства. В диспетчерском пункте и на контролируемой установке этот ток воздействует на контрольные реле, которые при наличии тока в линии притянуты. При обрыве, замыкании проводов или повреждении линии, сопровождающемся значительной утечкой, контрольные реле отпадают и дают сигнал о повреждении линии.

Применяются два способа контроля линии. В первом способе через линию пропускается ток меньший, чем нормальный рабочий ток линии. Этот ток воздействует в диспетчерском пункте и на контролируемой установке на контрольные реле повышенной чувствительности. Во втором способе контрольный ток в линии равен по своей величине рабочему. Роль контрольных реле в этом случае часто возлагается на линейные реле устройства, которые в нулевом положении переключаются на сигнал.

Принципиальная схема контроля линии с уменьшенным током в том виде, как она применяется в устройстве телеуправления фирмы Броун-Бовери, описанном на стр. 254, изображена на фиг. 173. Контакты пускового реле 5', дающего на линию во время работы устройства плюс источника тока, в нулевом положении искателей шунтируются на контролируемой установке сопротивлением R . Сопротивление R ограничивает силу тока в линии величиной в несколько миллиампер.

Этот ток недостаточен для того, чтобы привести в действие линейные реле 1 и 1', но достаточен для того, чтобы притянуть якорь чувствительного реле 16, включенного последовательно с реле 1. При обрыве линии или коротком замыкании на ней ток в обмотке реле 16 пропадает, и оно, отпустив свои контакты, замыкает цепь сигнальной лам-



Фиг. 174. Контроль линии, сигнализация движения и пуск искателей в устройстве телеуправления.

1 и 1' — линейные реле движения; 2 и 2' — повторители линейных реле движения; 5 и 5' — нулевые реле; 7 и 7' — пусковые реле; К7 — пусковая кнопка; 8 и 8' — переключающие реле; 9 и 9' — искатели; 1а — про-
скакивающий контакт объекта; Л'1 и Л'2 — лампочки, сигнализирующие повреждение и движение искателей; Л1 и Л2 — лампочки, сигнали-
зирующие исправное состояние устройства.

почки L_1 и звукового сигнала 3, сигнализируя этим диспетчеру о повреждении линии. Контрольное реле 16 выполнено с замедлением на выключение. Это позволяет ему держать свои контакты замкнутыми при перерывах тока в линии во время нормальной работы устройства.

Принципиальная схема контроля линии рабочим током в том виде, как она применяется в устройстве телеуправления изображена на фиг. 174.

Функции реле, контролирующих исправность линии, выполняются здесь линейными реле 1 и $1'$.

При нахождении щеток искателей в нулевом положении через контактные ряды 9г и 9'г в диспетчерском пункте и на контролируемой установке замыкаются цепи реле нулевого положения 5 и 5'. Эти реле во включенном состоянии (контакты 5а и 5б на фиг. 174 переведены вправо) отключают контактами 5а катушки реле 2 и 2' от верхнего положения контактов реле 1 и 1' и включают их через контакт 5б на нижнее положение контактов реле 1а и 1'а. (Реле 1 и 1' имеют не рабочий контакт, как это было указано на фиг. 14б, а переключающий контакт).

В нулевом положении щеток искателей цепь реле 1 и 1' будет замкнута (от минуса линейной батареи на контролируемой установке через контакты 7'б, щетку 9'а, обмотку 1', контакты 8'а, замкнутые контакты 4'в, провод I, замкнутые контакты 4в, контакты 8а, обмотку реле 1, щетку 9а, контакты 7б, провод II, средняя точка линейной батареи). Контакты этих реле будут притянуты (на фиг. 174 будут находиться в правом положении). При этом вместо цепей реле 2 и 2', нормально включаемых в притянтом положении реле 1 и 1', через правое положение контактов 1а и 1'а и правое положение контактов 5а и 5'а замкнутся цепи лампочек L_2 и L_2' , горение которых будет указывать, что искатель находится в нулевом положении и линия исправна. При обрыве линии или коротком замыкании линии цепь реле 1 и 1' в нулевом положении искателей нарушится. В первом случае ток прекратится в обоих реле, и они оба выключатся. Во втором случае отпадает только реле 1. Реле 1' останется в притянтом положении, так как ток, проходящий через него, будет замыкаться через место короткого замыкания.

В отпущенном положении реле 1 и 1' через левое положение их контактов 1а и 1'а и через правое положение контактов 5б и 5'б будут включены реле 2 и 2', которые переведут искатели во второе положение. В этом положении реле 5 и 5' будут выключены, и включение реле 2 и 2' будет происходить только через правое (включенное) положение контактов реле 1 и 1'. В рассматриваемом случае вследствие повреждения реле 1 и 1' останутся в спокойном положении, и дальнейшего движения искателей не произойдет.

В спокойном положении реле 5 и 5', 1 и 1' через левое положение контактов 1а и 5б замкнется цепь лампочек L_1 и L_1' , спокойное горение которых будет указывать на обрыв линии.

Пуск искателей осуществляется или от руки из диспетчерского пункта или автоматически при переключении какого-либо из масляных выключателей на контролируемой установке. Пуск от руки из диспетчерского пункта производится при помощи нажима на кнопку К7. При этом замыкается цепь пускового реле 7, которое контактами 7а блокирует себя во включенном состоянии, а контактами 7б размыкает цепь линейных реле 1 и 1'. Эти реле, отпуская свои контакты, переводят искатели, так же как и при обрыве линии, во второе положение.

Так как линия находится в исправности, то в этом положении цепь реле 1 и 1' снова замыкается, и искатели нормальным путем приходят в действие, осуществляя один оборот.

При переходе искателей на второй контакт катушка реле 7 замы-

кается накоротко через щетку и второй контакт контактного ряда 92. Реле 7 при этом отпустит свои контакты и вновь соединит цепь реле 1 в нулевом положении. Благодаря этому при приходе искателей в первое положение реле 1 и 1' притянутся и остановят искатели.

При движении искателей реле 1 и 1' в притянутом состоянии включают через правое положение контактов 1а и левое положение контактов 5а цепи реле 2 и 2', которые, включаясь, дают ток в электромагниты искателей (см. стр. 222). В отпущенном состоянии реле 1 и 1' через левое положение своих контактов и левое положение контактов 5б включают периодически лампочки L_1 и L_1' . Эти лампочки горят при этом мигающим светом, указывая, что искатели находятся в движении.

Автоматический пуск искателей с контролируемой установки производится при помощи реле 7'. Цепь этого реле замыкается на короткий промежуток времени при изменении положения любого из контролируемых объектов от проскакивающих контактов Па, замыкающихся на момент перехода объекта из одного положения в другое.

При включении реле 7' оно при помощи своих контактов 7'а блокирует себя во включенном состоянии, а контактами 7б размыкает цепь реле 1 и 1' и пускает этим искатели в ход таким же порядком, как и при пуске их из диспетчерского пункта.

Если во время движения искателей произойдет переключение какого-либо другого масляного выключателя, то реле 7' снова включится и разомкнет цепь реле 1 и 1'. Благодаря этому искатели, достигнув нулевого положения, по совершении одного оборота не остановятся, а совершат второй оборот, во время которого они передадут вновь возникший сигнал.

Схема фиг. 174 дает не только контроль исправности линии, но контролирует также и состояние цепей питания той части устройства телеуправления, которая находится на контролируемой установке. Перегорание предохранителей линейной батареи прекращает ток в линии и вызывает такой же эффект, как и обрыв линии. При перегорании предохранителей местной батареи отпадает контрольное реле 4', не показанное на фиг. 174, которое своими контактами 4'в разрывает линию и вызывает в диспетчерском пункте сигнал повреждения.

б) Контроль правильности работы устройства и повторное включение искателей. При неправильной передаче сигнала или нарушении правильной работы устройства во время передачи защитные устройства отменяют исполнение сигнала. При рассмотрении принципов действия устройств телеуправления уже указывалось, что в этом случае устройство телеуправления должно автоматически включаться в работу для повторной передачи сигнала. Для этого служат цепи контроля правильности работы устройства и повторного включения искателей.

Принципиальная схема этих цепей в том виде, как она выполняется в устройстве телеуправления, изображена на фиг. 175.

Для контроля правильности работы искателей используется тот факт, что при правильной работе реле 1, 2, 3 и 8 работают в определенном ритме, который определяется временем их притяжения и от-

на две независимые друг от друга части, а реле 2 и 2' получают постоянное питание через контакты 4а и контакты 5г помимо контактов реле 1.

Реле 2 и 3 в диспетчерском пункте и реле 2' и 3' на контролируемой установке образуют при этом две пары пульсирующих реле, которые будут давать в электромагниты искателей прерывистый ток, передвигая их независимо друг от друга. Это передвижение будет продолжаться до тех пор, пока оба искателя не придут в нулевое положение. В этом положении через щетки и нулевые контакты контактных рядов 9г и 9'г притянутся реле 5 и 5', которые контактами 5г и 5'г разъединят цепи катушек 2 и 2', а контактами 5в и 5'в дадут ток реле 4 и 4'.

Так как при выключении реле 4 оно, как уже указывалось выше, включает пусковое реле 7, то по приходе обоих искателей в нулевое положение и соединении обеих половин схемы искатели придут в действие и обойдут все контакты, совершив один оборот и осуществив повторную передачу всех сигналов в том числе и переданных при рассогласовании работы искателей.

в) Включение нескольких контролируемых установок в один канал связи. В некоторых случаях работы устройств телеуправления может встретиться необходимость включения нескольких контролируемых установок в один провод связи. Этот случай особенно часто имеет место при управлении подстанциями электрифицированных железных дорог или вторичной распределительной сети, где все управляемые установки бывают обычно расположены в одном направлении вдоль линии.

В случае такого включения необходимо применять специальные схемы, обеспечивающие определенную очередность передачи сигналов в диспетчерский пункт при одновременном возникновении их на двух или нескольких контролируемых установках, территориально расположенных раздельно друг от друга. Одновременно должна производиться передача сигналов только с одной контролируемой установкой, передача же сигналов со всех других установок должна быть заблокирована.

В кодовых устройствах телеуправления должна быть, кроме того, предусмотрена взаимная блокировка передающей и приемной частей, с тем чтобы передача сигналов не могла нарушить правильности приема, и наоборот.

Одна из таких схем, применяемая в устройстве телеуправления фирмы АЕГ, приведена на фиг. 176.

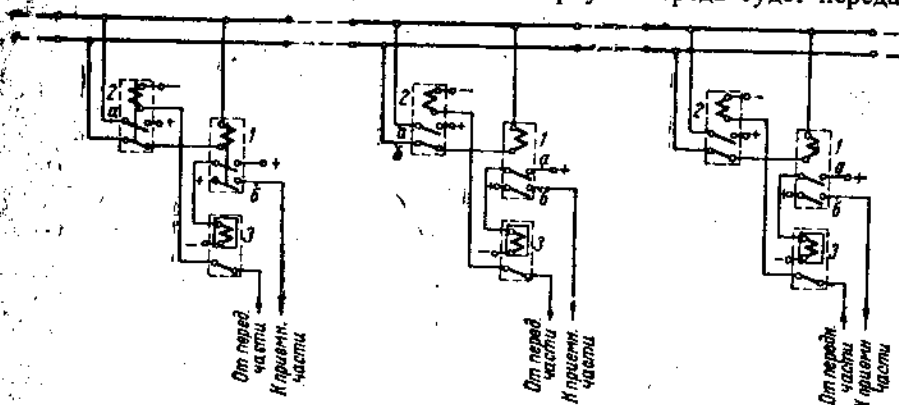
Блокирование сигналов осуществляется здесь следующим образом: Приемная и передающая части устройств телеуправления, находящиеся в диспетчерском пункте и на каждой из контролируемых установок, присоединяются к линии связи через приемное реле 1 и передающее реле 2. Эти реле выполнены таким образом, что при своем действии они блокируют друг друга.

При приеме сигналов приемное реле 1 под действием импульсов замыкает и размыкает свои контакты. При этом контактами 1б оно передает эти импульсы приемной части устройства телеуправления, давая ей ток от местной батареи, а контактами 1а включает цепь реле 3. Это реле, выполненное с замедлением на выключение, при нор-

мальном следовании импульсов будет находиться все время в притянутом состоянии и своими контактами будет размыкать цепь передающего реле 2. Передача сигналов поэтому блокирована на все время пока происходит прием сигналов.

Цепь приемного реле 1 включена через контакты передающего реле 2. При действии передающей части реле 2 размыкает своими контактами 2б цепь реле 1, блокируя таким образом прием сигналов.

Импульсы, посылаемые одной из контролируемых установок, воспринимаются приемными реле всех остальных установок, которые, включая замедленные реле 3, блокируют передающие части всех установок. Поэтому при одновременном возникновении сигналов на различных контролируемых установках в первую очередь будет передан



Фиг. 176. Включение нескольких устройств телеуправления в один провод связи.
1 — приемное реле; 2 — передающее реле; 3 — блокирующее реле.

сигнал с той, у которой первым подействует реле 2. На всех же остальных передача сигналов будет заблокирована.

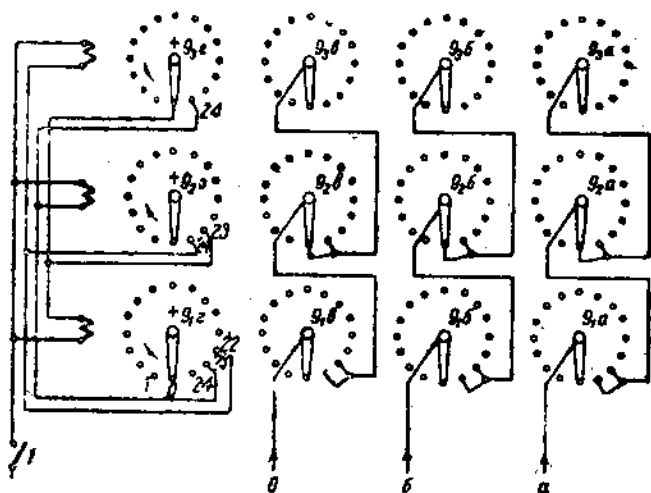
В случае включения нескольких контролируемых установок в один провод связи каждой из этих установок присваиваются в устройствах телеуправления кодового типа отдельные коды и в устройствах телеуправления распределительного типа отдельные контакты искателей, не повторяющиеся на других установках. В диспетчерском пункте устройство телеуправления имеет коды, присвоенные всем контролируемым установкам. Поэтому при передаче сигнала с какой-либо из контролируемых установок работать будут приемные реле всех контролируемых установок, однако сигнал будет воспринят только в диспетчерском пункте.

г) **Последовательное включение искателей.** Количество различных сигналов, передаваемых из диспетчерского пункта на контролируемую установку и обратно, составляет для крупных подстанций и станций обычно от 50 до 100 шт., доходя в некоторых случаях до 120—150 шт. Для передачи такого количества сигналов число контактов стандартных искателей недостаточно. В этих случаях приходится применять специальные схемы, которые позволяют производить передачу сигнала

лов с нескольких переключателей, включенных таким образом, что они действуют друг за другом.

При пуске устройства в этом случае приходит в действие сперва первый переключатель. Он доходит до определенного контакта и включает второй переключатель, переключая одновременно все провода на его щетки. Второй переключатель, совершив один оборот, включает третий и т. д. Наконец, последний переключатель, совершив один оборот, снова включает первый, который приходит в нулевое положение и останавливается.

Одна из схем последовательного включения переключателей, разработанная для круглых искателей завода «Красная заря», типа ОЛ, изображена на фиг. 177.



Фиг. 177. Последовательное включение искателей.

На этой схеме изображено последовательное включение трех искателей. Катушки электромагнитов этих искателей присоединены одним концом к проводу, идущему от контакта 1 пульс-пары, приводящей искатели в движение. Другие концы этих катушек включены через контакты контактных рядов 92 искателей.

В положении, изображенном на фиг. 177 (нулевое положение) включен электромагнит искателя 9₁, который получает питание через нулевое положение щеток 9₃г искателя 9₃.

При работе пульс-пары (замыкании и размыкании контакта 1) придет поэтому в движение только искатель 9₁. В тот момент, когда щетки этого искателя перейдут на 22-й контакт, через этот контакт и щетки 9₁г окажется замкнутой цепь катушки электромагнита искателя 9₃. Поэтому следующий шаг искатели 9₁ и 9₃ сделают вместе. При этом искатель 9₃, перейдя во второе положение, разорвет цепь электромагнита искателя 9₁, искатель же 9₁, перейдя в 23-е положение, замкнет цепь электромагнита искателя 9₂. Искатель 9₁ будет

после этого лишен возможности двигаться, вместо него придет в движение искатель 9_2 .

Движение искателя 9_2 будет продолжаться до тех пор, пока он не достигнет 23-го контакта. На этом контакте снова замкнется цепь электромагнита искателя 9_1 , и следующий шаг будет сделан одновременно как искателем 9_2 , так и искателем 9_1 . При этом искатель 9_1 , перейдя в 24-е положение, выключит электромагнит искателя 9_2 , искатель же 9_2 , перейдя в 24-е положение, включит электромагнит искателя 9_3 . Поэтому искатель 9_2 остановится, а вместо него придет в движение искатель 9_3 .

Движение искателя 9_3 будет продолжаться до тех пор, пока его щетки не придут на 24-й контакт. На этом контакте через щетки 9_{32} включится снова электромагнит искателя 9_2 . Следующий шаг поэтому сделают оба искателя 9_2 и 9_3 одновременно. При этом щетки их окажутся в нулевом положении, в котором через контактный ряд 9_{32} снова окажется включенным электромагнит искателя 9_1 . При следующем импульсе этот искатель переведет свои контакты в нулевое положение, где он остановится, закончив таким образом цикл движения.

Как можно видеть на фиг. 177, одновременно с пуском каждого из последующих искателей щетки этих искателей в рядах $9a$, $9b$ и $9c$ получают соединение со щетками первого искателя, соединяясь через них с общими цепями движения и сигнализации (провода a , b и c).

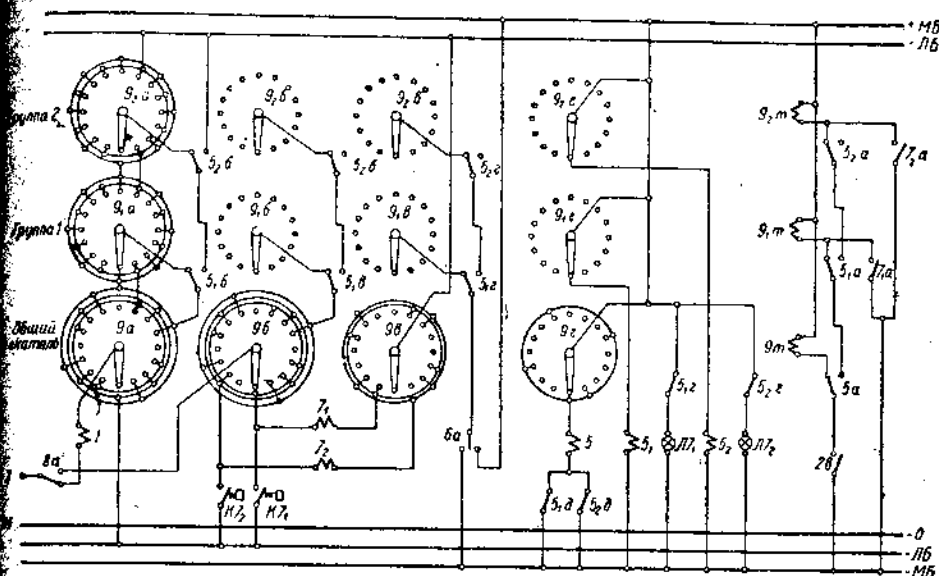
д) Разделение сигналов на группы. Последовательное включение переключателей имеет тот недостаток, что оно увеличивает время передачи сигнала, поскольку вместо одного переключателя должны работать последовательно во времени несколько. В устройствах телеуправления распределительного типа при большом числе сигналов предпочитают поэтому делить их на группы, заставляя каждый раз работать только тот переключатель, к группе которого принадлежит передаваемый сигнал. При таком включении переключателей передача сигнала разделяется на две части: вначале производится выбор группы, к которой принадлежит сигнал, а затем уже производится передача самого сигнала. Время передачи при этом возрастает незначительно, только на величину, необходимую для выбора группы.

Принципиальная схема группового включения телефонных искателей в системе Мосэнерго изображена на фиг. 178. Сигналы разделены на две группы, одна обслуживается групповым искателем 9_1 , а другая — групповым искателем 9_2 . Общий искатель 9 служит для выбора групповых искателей и обслуживания общих цепей устройства (контроль исправности линии, контроль исправности передачи сигналов и т. п.).

В спокойном положении искателей через щетки и нулевые контакты контактных рядов 9_{12} и 9_{22} включены реле нулевого положения групповых искателей 5_1 и 5_2 . Контакты этих реле находятся поэтому в притянутом состоянии (на схеме фиг. 178 в правом положении).

Пусть нужно передать сигнал в группу обслуживаемую искателем 9_2 . Для этого после осуществления всех манипуляций, необходимых

для посылки сигнала, нужно нажать пусковую кнопку $K7_2$. Первоначально придет в движение общий искатель 9, так как ток от контактов 2в реле 2, осуществляющих движение искателей (ср. со схемой фиг. 146), будет поступать через спокойное положение контактов 5а только на электромагнит 9т. При перемещении щеток искателя 9 во второе положение замкнется цепь пускового реле 7₂ (с одной стороны от минуса линейной батареи через пусковую кнопку $K7_2$ и с другой — от плюса



Фиг. 178. Групповое включение сигналов.

1 — линейное реле движения; 2 — повторитель линейного реле; 5, 5₁ и 5₂ — реле нулевого положения; 7₁ и 7₂ — пусковые реле групповых искателей; $K7_1$ и $K7_2$ — пусковые кнопки групповых искателей; 9, 9₁ и 9₂ — общий и групповые искатели, 9т, 9₁т и 9₂т — электромагниты искателей

линейной батареи через второй контакт контактного ряда 9б). Одновременно пусковой импульс через контактный ряд 9б, верхнее положение контактов 8а и линию будет передан на контролируемую установку, где также воздействует на реле 7. Реле 7₂ в диспетчерском пункте и 7₁ на контролируемой установке, замкнув свои контакты и затем разомкнув их (в тот момент, когда искатели перейдут из второго положения в третье), передвинут искатели 9₂ как в диспетчерском пункте, так и на контролируемой установке во второе положение. При этом будет прервана цепь реле 5₂, включенных через нулевое положение контактных рядов 9₂ этих искателей, и эти реле отпустят свои контакты. Когда общий искатель обойдет все пусковые реле, то при переходе его на следующий контакт (на схеме фиг. 178 — третий контакт) замкнется цепь реле 5 (плюс, щетки и третий контакт контактного ряда 9г, спокойный контакт 5₂б отпущившего реле 5₂, минус). Реле 5, переключив свой контакт 5а, переведет цепь контакта 2в через притянутые контакты 5₁а и спокойное положение контактов 5₂а

на электромагнит 9_m , прервав одновременно цепь электромагнита 9_m . Одновременно через контакты 5_{2b} , $5_{2в}$ и $5_{2г}$ реле 5_2 будут переключены на щетки искателя 9_2 цепи движения и сигнализации.

По совершении одного оборота щетки искателя 9_2 , осуществив передачу сигнала, придут опять в нулевое положение. В этом положении замкнется цепь реле 5_2 , и это реле, притянув свои контакты, разорвет цепь реле 5 и цепи движения и сигнализации. Реле 5 , отпустив свой контакт, опять замкнет цепь электромагнита 9_m группового искателя, который перейдет в нулевое положение.

Общий искатель 9 при небольшом числе групповых искателей может иметь, как это показано на фиг. 178, несколько нулевых положений. Это позволяет сократить время, которое необходимо для перехода его в нулевое положение.

ГЛАВА XI

СХЕМЫ ПОСЫЛКИ И ИСПОЛНЕНИЯ

41. Основные требования

К посылке и исполнению сигналов в устройствах телеуправления предъявляются следующие основные требования:

а) Передача командного или распорядительного сигнала из диспетчерского пункта на контролируемую установку должна разбиваться на две операции: подготовительную и исполнительную.

б) Каждый приходящий сигнал должен требовать квитирования. Для более важных объектов (например, для масляных выключателей), квитирование должно выполняться отдельно для каждого объекта. Для менее важных объектов (сигнализация направления мощности, положение разъединителей и т. п.) квитирование может быть сделано общим.

в) Получение сигнала должно сопровождаться звуковым сигналом и индикаторами несоответствия.

При большом количестве сигнализируемых объектов и больших размерах диспетчерского щита полезно выделять специальным сигналом ту часть схемы или ту контролируемую установку, на которой произошло переключение объекта. Это будет направлять внимание диспетчера сразу на соответствующий участок диспетчерского щита, избавляя его от необходимости при получении каждого сигнала обегать глазами всю схему. Общий сигнал несоответствия выполняется обычно в виде специальной сигнальной лампочки увеличенного размера, помещаемой около схемы каждой контролируемой установки на диспетчерском щите.

При больших размерах диспетчерского пункта должен быть предусмотрен, кроме того, специальный сигнал несоответствия для квитирования кнопок. Этот сигнал должен указывать диспетчеру среди большого количества квитировающих кнопок на ту кнопку, которую он должен переключать для квитирования полученного сигнала, избавляя его этим от необходимости отыскивать эту кнопку сообразно с номером или расположением объекта, изменившего свое положение.

Этот сигнал выполняется обычно при помощи специальных лампочек несоответствия, расположенных на пульте непосредственно около каждой из квитирующих кнопок.

Таким образом исполнительное реле в диспетчерском пункте при переключении объекта должно давать следующие сигналы:

- а) сигнал об изменившемся положении объекта;
- б) сигнал несоответствия на диспетчерском щите;
- в) сигнал несоответствия на диспетчерском пульте около квитирующей кнопки;
- г) общий сигнал, указывающий контролируруемую установку, на которой произошло переключение объекта;
- д) звуковой сигнал.

При помощи этих же сигналов должна производиться сигнализация предполагаемого переключения объекта при предварительном наборе сигнала во время подготовительной операции.

Таким образом функции, выполняемые исполнительными реле в диспетчерском пункте, являются достаточно сложными. Рассмотренный случай сигнализации положения выключателей является наиболее сложным, воспроизведение других сигналов (известительных сигналов, сигналов о направлении мощности и т. п.) в диспетчерском пункте осуществляется проще. Однако и здесь необходимы сигналы несоответствия и квитирование.

Следующим важным требованием, предъявляемым к цепям исполнения, является требование, чтобы указанные выше сигналы осуществлялись при помощи минимального количества реле. Основные размеры установок в отношении количества реле, мощности источников питания и т. п. определяются главным образом схемой выполнения индивидуальных сигналов и командных цепей. Количество реле, необходимых для самой передачи сигналов, в большинстве случаев не зависит или зависит в очень малой степени от количества сигналов и составляет обычно несколько десятков реле на установку. Увеличение количества реле здесь поэтому не имеет большого значения. Количество исполнительных реле, наоборот, прямо пропорционально количеству сигналов. Поэтому для современных больших диспетчерских пунктов, где количество сигналов составляет 1 000—1 500 шт., каждое лишнее реле в схеме индивидуальных цепей сигнализации и команды означает увеличение общего количества реле на 1 000—1 500 шт.

Вопрос о количестве реле тесно связан с вопросом о потреблении тока. Экономичность устройства телеуправления в отношении эксплуатационных расходов определяется в значительной степени количеством реле, постоянно находящихся под током.

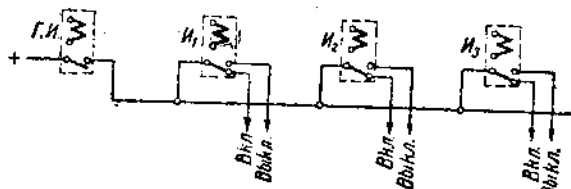
Здесь, так же как и в вопросе о количестве реле, решающее значение имеет правильное конструирование схемы исполнительных реле. В этом отношении условия в диспетчерском пункте и на контролируемой установке различны, так как осуществление сигналов должно происходить принципиально различным образом. В диспетчерском пункте полученный сигнал должен быть зафиксирован до получения противоположного сигнала, фиксируя таким образом существующее положение объекта (например, сигнал о включении масляного выключателя).

чателя должен существовать в диспетчерском пункте до получения сигнала о выключении масляного выключателя). Командный сигнал на контролируемой установке должен существовать, наоборот, только до того момента, пока он не будет выполнен обслуживающим персоналом или же пока его автоматически не выполнят управляющие цепи.

С точки зрения расхода тока сигналы, получаемые в диспетчерском пункте, целесообразно выполнять таким образом, чтобы исполнительные реле находились под током только до момента приема (квитирования) сигнала. Однако такое выполнение возможно только при применении реле специального типа (поляризованных или же так называемого «прокидывающегося» типа), которые не обтекаются током в двух положениях.

В случае применения для исполнительных элементов обычных электромагнитных реле фиксация положения объектов может быть осуществлена только при условии, что в одном из положений реле находится под током. В одном из устройств телеуправления (фирмы Сименс)

применяется схема, в которой исполнительные реле электромагнитного типа находятся под током только в момент получения сигнала, однако эта схема обладает рядом недостатков, о которых будет говориться ниже (стр. 286).



Фиг. 179. Включение исполнительных реле.

На контролируемой установке постоянное нахождение исполнительных реле в одном из положений под током не только необязательно, но и нецелесообразно с точки зрения возможности неправильных операций. При постоянной фиксации переданной команды исполнительное реле фиксирует на контролируемой установке определенное положение объекта, лишая его возможности изменять свое положение вне зависимости от устройства телеуправления. Это видно из фиг. 179, на которой приведена принципиальная схема исполнительных реле. После каждой передачи сигналов все исполнительные реле принимают положение, соответствующее полученным командам, причем часть из них остается во включенном положении и часть в выключенном положении. Своими контактами исполнительные реле включают управляющие цепи объектов. Постоянное включение управляющих цепей объектов, однако, недопустимо (так же как при дистанционном управлении недопустимо постоянное включение на щите контактора дистанционного привода масляных выключателей). При таком включении самопроизвольное переключение объекта от действия защиты или переключение его от руки вызывает так называемое явление «качаний» (rumping) объекта. Это явление заключается в том, что, например, в случае выключения масляного выключателя при коротком замыкании от действия защиты, исполнительное реле, находящееся во включенном состоянии, снова включит его. Масляный выключатель

снова выключится и снова будет включен исполнительным реле и т. д.

Поэтому в устройствах телеуправления, применяющих постоянное включение исполнительных реле, цепи управления нормально бывают разомкнуты и включаются после передачи команды только на время, достаточное для того, чтобы объект совершил одно переключение. На фиг. 179 это включение производится при помощи реле Г. И.

Такое включение, предупреждая «качание» объекта, не предохраняет от неправильных переключений. Если во время спокойного положения устройства произошло повреждение обмотки одного из исполнительных реле и это реле, бывшее ранее в притяннутом состоянии, отпустило свои контакты, то при первой же передаче сигналов вместе с правильным изменением положения масляных выключателей, для которых были переданы новые сигналы, произойдет неправильное переключение масляного выключателя, управляемого исполнительным реле, у которого произошло повреждение обмотки. Этот масляный выключатель примет при этом положение, соответствующее выключенному исполнительному реле.

42. Схемы включения сигнальных реле

В малоканальных устройствах телеуправления, а также в многоканальных устройствах комбинационного типа получение сигналов сводится к подаче на обмотку сигнальных реле кратковременных импульсов тока. Для того чтобы передать два различных положения объекта, применяются два способа. В большинстве устройств телеуправления на сигнальное реле, имеющее одну обмотку, передается в зависимости от положения контролируемого объекта ток той или иной полярности. Во втором способе применяется ток одной полярности. Сигнальное реле имеет, однако, в этом случае две обмотки и в зависимости от положения контролируемого объекта ток поступает в ту или другую обмотку.

Задача сигнального реле состоит в том, чтобы полученный им кратковременный импульс зафиксировать и занять определенное положение, соответствующее положению контролируемого объекта до момента получения противоположного сигнала. Одновременно сигнальное реле должно включить на диспетчерской доске или на пульте сигналы несоответствия и сигналы, указывающие на данное положение объекта.

В качестве сигнальных применяются следующие три типа реле:

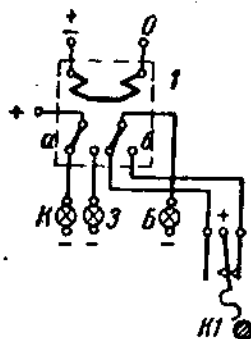
- а) поляризованные реле;
- б) опрокидывающиеся реле (электромагнитные двухпозиционные);
- в) электромагнитные реле с блокировкой.

Рассмотрим схемы включения этих трех типов реле.

а) Включение поляризованных реле. Поляризованное реле имеет два положения якоря. При получении тока той или иной полярности оно переводит свой якорь в одно из положений, переключая одновременно контакты, и остается в этом положении до получения тока противоположной полярности. Поляризованное реле, таким образом, полностью отвечает поставленным выше требованиям: оно не требует дополнительных приспособлений для фиксации полученного сигнала и в спокойном положении не потребляет тока.

Принципиальная схема включения поляризованного реле приведена на фиг. 180.

При получении сигнала поляризованное реле переключает свои контакты в зависимости от полярности полученного импульса тока. При этом контактом *a* оно включает красную или зеленую сигнальную лампочку, сигнализирующую положение объекта, а контактами *б* включает сигналы несоответствия (на фиг. 180 — белую сигнальную лампочку *Б*).



Фиг. 180. Принципиальная схема включения поляризованного реле.

1 — сигнальное реле; *К1* — квотирующая кнопка; *К* и *З* — красная и зеленая сигнальные лампочки; *Б* — лампочка несоответствия.

Сигналы несоответствия должны иметь место во всех случаях, когда положение квотирующей кнопки не соответствует действительному положению контролируемого объекта. При получении сигнала о переключении объекта сигнальное реле займет положение, соответствующее новому положению контролируемого аппарата, в то время как квотирующая кнопка до квотирования сигнала будет занимать положение, соответствующее старому положению объекта. Это обстоятельство можно использовать для получения сигналов несоответствия путем сравнения положения контактов сигнального реле и квотирующей кнопки.

На фиг. 180 сигнальная лампочка несоответствия *Б* включена через контакты поляризованного сигнального реле 1 и контакты квотирующей кнопки *К1* таким образом, что цепь этой лампочки замыкается только при неодинаковом положении этих контактов.

В положении соответствия, изображенном на фиг. 180, цепь лампочки *Б* разомкнута.

При переключении сигнального реле 1 или изменении положения квотирующей кнопки *К1* цепь лампочки *Б* замыкается, и она сигнализирует своим горением несоответствие.

Схема фиг. 180 не обеспечивает получения всех сигналов несоответствия, указанных в предыдущем разделе. Выполнение этих сигналов возможно было бы только при наличии третьего контакта на поляризованном реле. Однако уже наличие двух контактов уменьшает чувствительность реле и усложняет его конструкцию. Поэтому в некоторых схемах применяют поляризованные реле с одним контактом, но с дополнительным реле несоответствия. Принципиальная схема включения реле для этого случая изображена на фиг. 181.

Поляризованное реле имеет один контакт, который используется для сигналов несоответствия. Включение красной и зеленой лампочек, сигнализирующих положение контролируемого объекта, происходит через контакты *a* квотирующей кнопки *К1*.

При соответствии положения квотирующей кнопки положению объекта цепь реле 2 разомкнута. При переключении контактов реле 1 или изменении положения квотирующей кнопки ее контакты *б* включают цепь реле 2, которое замыкает свои контакты. При этом контактом

а оно включает общий сигнал, контактом б включает лампочку несоответствия Б, а контактом в переключает красную сигнальную лампочку со спокойного света на мигающий (на прерывистый ток). При переключении квитирующей кнопки цепь реле несоответствия прерывается, и сигналы несоответствия исчезают, через контакты же а квитирующей кнопки включается зеленая сигнальная лампочка, соответствующая новому положению объекта.

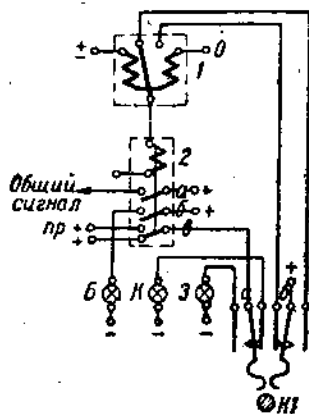
Схема фиг. 181 имеет тот недостаток, что включение лампочек, сигнализирующих положение объектов, происходит через контакты квитирующей кнопки. Поэтому правильное отображение положения контролируемого объекта получается только после квитирувания сигнала. Кроме того, на каждый сигнал здесь необходимо иметь два реле, что увеличивает размеры установки и удорожает ее.

б) Включение опрокидывающихся реле. Опрокидывающиеся реле представляют собой сдвоенные электромагнитные реле, якоря которых механически соединены друг с другом таким образом, что при пропускании тока через обмотку одного из реле якорь другого также меняет свое положение. При этом по исчезновении тока оба реле остаются в новом положении. Принципиальная схема опрокидывающегося реле приведена на фиг. 182.

Каждая из обмоток реле включена через контакты связанной с ней другой обмотки. Так как во включенном положении благодаря механической связи могут находиться одновременно только контакты одной из обмоток, то из двух обмоток всегда включена только одна.

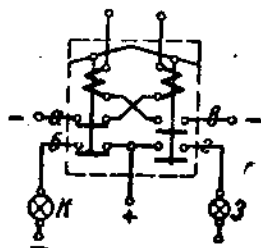
При протекании тока через эту обмотку якорь ее притягивается и, замыкая свои контакты, через механическую связь одновременно перемещает якорь и выключает контакты другой обмотки. При этом цепь обмотки, обтекаемой током, разрывается, а вместо нее включается цепь другой обмотки. Действие опрокидывающегося реле равносильно действию поляризованного реле, и схемы включения его одинаковы со

Фиг. 182. Схема опрокидывающегося реле.



Фиг. 181. Принципиальная схема включения поляризованного реле с реле несоответствия.

1 — сигнальное реле; 2 — реле несоответствия; К1 — квитирующая кнопка; К и З — красная и зеленая сигнальные лампочки; Б — лампочка несоответствия.

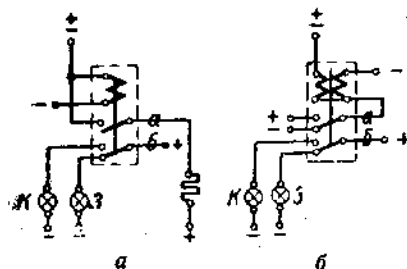


схемами включения последнего.

в) Включение электромагнитных реле. Электромагнитные реле в обесточенном состоянии имеют только одно положение. Поэтому для фиксации двух положений контролируемого объекта приходится применять схемы с блокировкой реле. Одна из таких схем представлена

на фиг. 183, а. Реле здесь имеет одну обмотку, которая присоединена с одного конца к минусу источника тока, а с другого получает при передаче сигнала положительный или отрицательный импульс в зависимости от положения контролируемого объекта. При получении положительного импульса через обмотку

реле проходит ток и оно замыкает свои контакты, причем контактом а блокирует себя во включенном состоянии. В этом состоянии оно будет находиться до тех пор, пока не будет получен отрицательный импульс. При получении этого импульса обмотка реле на некоторый промежуток времени оказывается закороченной (приключенной с обоих концов к одному и тому же полюсу источника тока), и реле приходит в спокойное состояние.



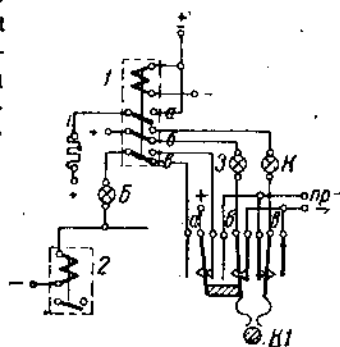
Фиг. 183. Включение электромагнитных реле.

На фиг. 183, б показан другой способ включения электромагнитного реле, имеющего две обмотки, из которых одна является блокирующей. Обе обмотки соединены с одного конца вместе и в спокойном состоянии реле присоединяются через контакт а реле к минусу источника тока.

При получении левой обмоткой плюса через нее проходит ток, и реле включается. При этом, переключая свой контакт а, оно пересоединяет концы обеих обмоток с минуса на плюс. Контакты а выполнены таким образом, что это пересоединение происходит без прерыва тока.

При переключении контактов а блокирующая (правая) обмотка реле оказывается под током, и так как витки ее направлены в ту же сторону, что и витки основной обмотки, то реле блокируется во включенном состоянии.

При получении минуса через основную обмотку снова проходит ток. Так как этот ток протекает теперь в обратном направлении, то витки основной обмотки окажутся направленными против витков блокирующей обмотки, и реле отпустит свой якорь. При этом контакт а снова переключит концы обмоток на минус и подготовит реле к включению. Включение по схеме фиг. 183, а обладает тем недостатком, что при получении минуса (выключении реле) обмотка его оказывается закороченной, благодаря чему реле получает некоторое замедление на выключение. Схема фиг. 183, б не обладает этим недостатком, но вместо этого требует большего потребления тока, так как реле имеет две обмотки и во включенном положении удерживается только через одну из них.



Фиг. 184. Принципиальная схема включения электромагнитного сигнального реле.

1 — сигнальное реле; K1 — блокирующая кнопка; 2 — реле обоих сигналов; З и К — зеленая и красная сигнальные лампы; Б — лампочка несоответствия.

Принципиальная схема сигнализации с электромагнитными реле изображена на фиг. 184.

В положении соответствия, изображенном на фиг. 184, через контакты *б* сигнального реле *1* и через контакты *б* квитирующей кнопки *К1* включена зеленая сигнальная лампочка *З*. Kontakтами *в* квитирующей кнопки подготовлена цепь прерывистого тока для красной сигнальной лампочки *К*.

При включении сигнального реле *1* оно своими контактами *в* через контакты *а* квитирующей кнопки замыкает цепь белой лампочки несоответствия *Б*, а контактами *б* выключает зеленую сигнальную лампочку и включает красную сигнальную лампочку. Так как последняя через контакты *в* квитирующей кнопки включена на прерывистый ток, то она загорается мигающим светом.

Все лампочки несоответствия включены через общее сигнальное реле *2*, которое при включении любой из этих лампочек замыкает свои контакты и включает общие сигналы.

При квитировании сигнала квитирующая кнопка *К1* контактом *а* разрывает цепь белой лампочки несоответствия, контактами *в* переключает красную сигнальную лампочку с мигающего света на спокойный, а контактами *б* подготавливает цепь прерывистого тока для зеленой сигнальной лампочки.

Потребление тока в одном из положений электромагнитного реле можно значительно сократить, включив сигнальные реле таким образом, чтобы притянутое состояние их соответствовало положению, в котором нормально находится небольшое количество объектов. Для масляных выключателей это будет соответствовать выключенному положению, так как нормально большинство масляных выключателей включено.

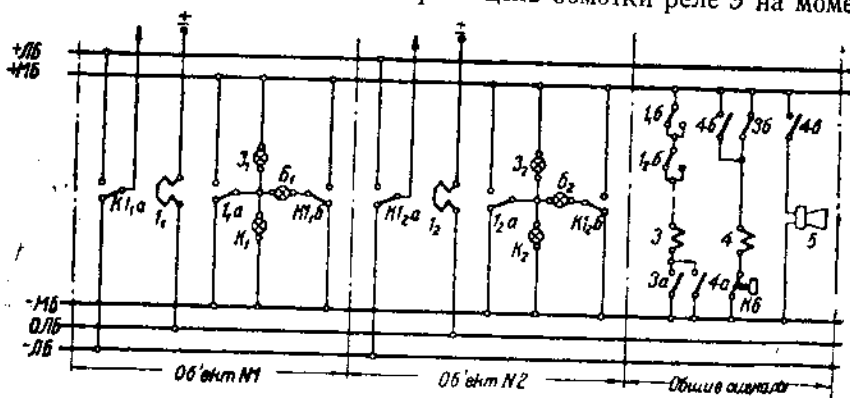
Из описанных выше схем наиболее приемлемой является схема с электромагнитными реле. Поляризованные и опрокидывающиеся реле сложны по своей конструкции и дороги в изготовлении. Кроме того, они имеют большие размеры и требуют большой площади для своего размещения. Электромагнитные реле (телефонные, кодовые) обладают значительно меньшими размерами и поэтому экономят значительную площадь. Вместе с тем они более полно удовлетворяют поставленным выше требованиям в отношении сигнализации.

43. Воспроизведение сигналов

а) Воспроизведение сигналов схемами с поляризованными сигнальными реле. Поляризованные сигнальные реле применяются в устройствах телеуправления Дженераль Электрик №. Схема воспроизведения сигналов в этих устройствах приведена на фиг. 185. Поляризованные реле, применяемые в схеме, имеют два контакта (внешний вид см. фиг. 128). Один из контактов (*1а* на фиг. 185) служит для переключения красной и зеленой сигнальных лампочек и для включения лампочки несоответствия *Б*. Последняя с одной стороны включается на плюс или минус местной батареи контактом *1а*, а с другой — подключается к тем же полюсам через контакты *К1б* командно-квитирую-

щего ключа. Если положение командно-квитирующего ключа соответствует положению сигнального реле, то лампочка несоответствия *Б* оказывается включенной с обеих сторон к одному и тому же полюсу. При переключении сигнального реле его контакты *1а* меняют полярность на одном из зажимов лампочки, и она загорается. То же происходит и при переключении командно-квитирующего ключа от руки.

Контакт *1б* сигнального реле *1* служит для включения общего звукового сигнала. Эти контакты у всех сигнальных реле соединены последовательно друг с другом, образуя цепь для обмотки реле *3*, которая с другого конца включается через свой контакт *3а*. При переключении любого из сигнальных реле цепь обмотки реле *3* на момент



Фиг. 185. Принципиальная схема сигнализации положения объектов с поляризованным реле (фирма Джeneralль Электрик).

$1_1, 1_2$ — сигнальные реле; $K1_1, K1_2$ — командно-квитирующие ключи, 3 и 4 — реле звукового сигнала; 5 — звуковой сигнал; $3_1, 3_2, K_1$ и K_2 — зеленые и красные сигнальные лампочки; B_1 и B_2 — лампочки несоответствия; $Кб$ — кнопка выключения звукового сигнала.

перехода контактов сигнального реле из одного положения в другое разрывается. Это реле выключается и контактами $3а$ разрывает свою цепь с другой стороны. Одновременно через контакты $3б$ включается реле 4 , которое контактами $4б$ блокирует себя во включенном состоянии, а контактом $4а$ включает звуковой сигнал 5 . Контакт $4а$ реле 4 шунтирует контакт $3а$, благодаря чему реле 3 получает возможность снова включиться.

Выключение звукового сигнала производится путем кратковременного нажима кнопки $Кб$, разрывающей цепь реле 4 .

Командно-квитирующий ключ $K1$ имеет второй контакт $K1а$, используемый для управления объектом. Этот контакт при переключении ключа присоединяет провод, идущий к передающей части устройства, к плюсу или минусу линейной батареи. Расположение командно-квитирующего ключа и сигнальных лампочек показано на фиг. 186. Все элементы, относящиеся к одному объекту, располагаются на отдельном щитке. В верхней части щитка помещаются красная и зеленая сигнальные лампочки, сигнализирующие положение объекта. Под ними расположен командно-квитирующий ключ. Под

ключом — белая сигнальная лампочка несоответствия и лампочка янтарного цвета, сигнализирующая остановку искателей в положении, соответствующем данному объекту (для устройства телеуправления распределительного типа). Наконец, в самом низу помещается выбирающая кнопка, при помощи которой производится остановка искателей в положении, соответствующем данному объекту (К7 на фиг. 144) и табличка с номером объекта.

Индивидуальные щитки собираются на пульте или на штативе в необходимом количестве, образуя поле командно-квитирующих ключей и сигнальных лампочек.

Чтобы осуществить переключение объекта, диспетчер должен повернуть в соответствующее положение командно-квитирующий ключ этого объекта. При этом ключ придет в положение несоответствия с сигнальным реле и возле ключа загорится лампочка несоответствия. Горение этой лампочки позволяет диспетчеру проверить правильность предпринимаемой операции. После этого диспетчер должен нажать выбирающую кнопку и нажимом на общую пусковую кнопку пустить устройство в ход. При достижении искателями контакта, соответствующего данному объекту, искатели остановятся (см. стр. 221). На щитке объекта загорится лампочка янтарного цвета, которая укажет, что выбор произведен правильно. После этого нажимом на главный ключ управления диспетчер передает сигнал контролируемому объекту, который осуществляет намеченное переключение.

При получении обратного сигнала реле 1 переключается соответственно новому положению объекта. При этом контактами 1а оно выключает лампочку несоответствия и включает сигнальную лампочку, соответствующую новому положению объекта. Контактom 1б сигнальное реле включает звуковой сигнал 5.

Звуковой сигнал, погасание лампочки несоответствия и переключение сигнальной лампочки укажут диспетчеру, что объект изменил свое положение. После этого диспетчер должен нажимом на кнопку К6 выключить звуковой сигнал и, кроме того, вытянув выбирающую кнопку, позволить искателям возвратиться в нулевое положение.

При автоматическом переключении объекта сигнальное реле, переключаясь в соответствии с новым положением объекта, переключает сигнальную лампочку, включает лампочку несоответствия и звуковой сигнал. Для квитирования сигнала диспетчер должен повернуть командно-квитирующий ключ и нажимом на кнопку К6 выключить звуковой сигнал.

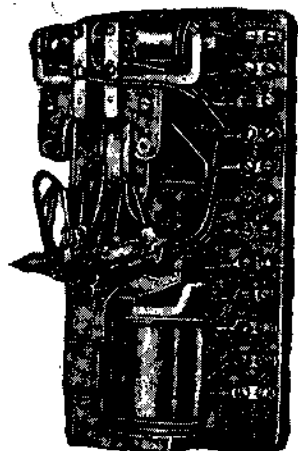
С точки зрения поставленных выше требований описанная схема воспроизведения сигналов обладает тем недостатком, что она дает только один сигнал несоответствия. Благодаря этому при размещении сигнальных лампочек на диспетчерском щите отыскание индикатора, изменившего свое положение, затрудняется. Кроме того, большое



Фиг. 186.
Контрольный выключатель.

число (5) манипуляций, которое необходимо для переключения объекта, усложняет работу диспетчера.

б) Воспроизведение сигналов схемами с поляризованными сигнальными реле и реле несоответствия. Поляризованные сигнальные реле с реле несоответствия применяются фирмой Сименс в устройстве телеуправления с моторными переключателями. Внешний вид этих реле изображен на фиг. 187. Оба реле смонтированы на одной плите и представляют собой нераздельное целое. В верхней части плиты помещается поляризованное реле, в нижней — реле несоответствия. Монтаж и конструктивное выполнение реле выполнены как для реле сильного тока.



Фиг. 187. Сигнальное реле фирмы Сименс.

Несмотря на очень малые токи в цепях устройств телеуправления, реле несоответствия выполнено с ртутными контактами.

Такая конструкция явилась следствием желания фирмы выполнить устройство телеуправления возможно более похожим на установки сильного тока, с тем чтобы оно могло обслуживаться персоналом, привыкшим к сильноточной аппаратуре. Это привело к увеличению размеров аппаратуры (сигнальные реле, изображенные на фиг. 187, имеют раз-

меры $245 \times 135 \times 155$ mm), не дав никаких преимуществ. Поэтому в своих последующих устройствах фирма Сименс перешла на применение обычных телефонных реле.

Командно-квитирующий ключ, применяемый фирмой Сименс, изображен на фиг. 188. Этот ключ приспособлен для монтажа в мнемонической схеме на диспетчерском щите или на панелях щита управления. Он имеет головку, выступающую над поверхностью щита. Головка состоит из двух concentric трубок,



Фиг. 188. Командно-квитирующий ключ фирмы Сименс.

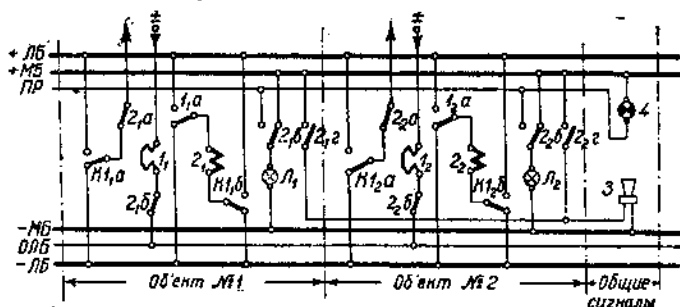
одна из которых оканчивается крышкой с грифом, сделанным из особой прозрачной массы и освещаемым имеющейся внутри трубки сигнальной лампочкой. Другая трубка оканчивается кольцом, охватывающим гриф с крышкой. Гриф ключа служит для сигнализации положения объектов и для квитирования. Он располагается в мнемонической схеме в месте расположения объекта, причем положение его

в направлении линии схемы сигнализирует включенное положение объекта, а положение, перпендикулярное этой линии, — выключенное положение (фиг. 188, справа). В корпусе ключа гриф соединен с контактами, служащими для квитирования сигналов.

Кольцо, расположенное вокруг грифа, служит для управления объектом и имеет три положения: нейтральное, правое и левое. В корпусе ключа оно связано с управляющими контактами.

Гриф и кольцо заблокированы друг с другом таким образом, что поворот грифа может быть сделан только тогда, когда кольцо стоит в нейтральном положении, а кольцо может быть повернуто только тогда, когда гриф ключа стоит точно в горизонтальном или вертикальном положении.

Схема воспроизведения сигналов фирмы Сименс приведена на фиг. 189. В положении, показанном на этой схеме квитирующие контакты командно-квитирующих ключей *K1б* находятся в соответствии



Фиг. 189. Принципиальная схема сигнализации положения объектов в устройстве телеуправления фирмы Сименс.

1 — полярное сигнальное реле; *K1* — командно-квитирующий ключ; 2 — реле несоответствия; 3 — звуковой сигнал; 4 — прерыватель; *Л* — сигнальная лампочка.

с контактами *1а* сигнальных реле. В этом положении реле несоответствия 2 приключены с обоих концов к одному полюсу источника тока и находятся в спокойном положении. Через контакты *2в* этих реле сигнальные лампочки *Л* включены непосредственно на плюс местной батареи и освещают грифы командно-квитирующих ключей спокойным светом.

При желании переключить объект диспетчер должен нажать кольцо командно-квитирующего ключа, соединенное с контактами *K1а*, и повернуть его вправо или влево. При этом соответствующий контакт переключателя передающего устройства получит соединение с плюсом или минусом источника тока. При прохождении щеток переключателя мимо соответствующего контакта сигнал будет передан на контролируемую установку, и объект осуществит желаемое переключение.

При получении обратного сигнала сигнальное реле переключит свои контакты *1а* соответственно новому положению объекта. При этом реле 2 окажется включенным с обеих сторон к различным полюсам линейной батареи и, сработав, притянет свой якорь. Контактom *2а* и контактом *2б* оно разорвет цепь управляющих контактов *K1а*

командно-квитирующего ключа и цепь обмотки сигнального реле 7. Благодаря этому до момента квитирования сигнала посылка управляющих и прием обратных сигналов прекращаются.

Так как квитирование сигнала может быть произведено после установления управляющего кольца в нейтральное положение, то по существу этим полностью исключается возможность посылки повторного сигнала.

Контактом 2в реле несоответствия 2 переключает сигнальную лампочку Л со спокойного света на мигающий, а контактом 2г включает звуковой сигнал 3. Мигание сигнальной лампочки и звуковой сигнал укажут диспетчеру на переключение объекта. При квитировании сигнала диспетчер поворачивает гриф ключа в положение, соответствующее новому положению объекта. При этом контакты К16 ключа переключают катушку реле 2 на тот же полюс, к которому она с другого конца включена контактами 1а. Реле 2 при этом отпускает свой якорь, контактом 2в переключая сигнальную лампочку снова на спокойный свет, контактом 2г выключая звуковой сигнал и контактами 2а и 2б замыкая цепи управления и обратного сигнала.

Описанная схема обладает тем недостатком, что она приспособлена к размещению командно-квитирующих ключей в мнемонической схеме диспетчерского щита. В больших диспетчерских пунктах это неудобно, так как требует значительного увеличения размеров щита и, при каждом переключении под-

Фиг. 190. Сигнальное реле фирмы АЕГ.

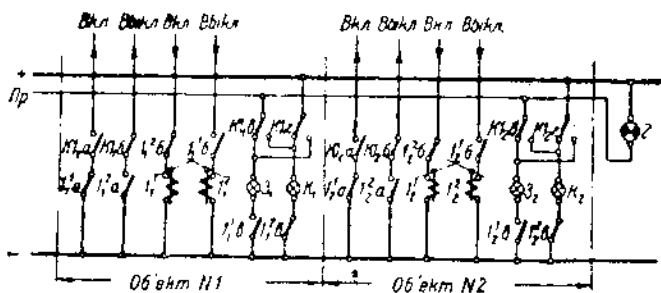
кроме того, заставляет диспетчера ходить к щиту для посылки управляющих или квитированных обратных сигналов.

Следует указать, что в схеме имеется возможность располагать командно-квитирующие ключи на пульте отдельно от диспетчерского щита. Для этого в ключе предусмотрены специальные дополнительные контакты, к которым приключаются сигнальные лампочки на диспетчерском щите. В этом случае, однако, вследствие сравнительно больших размеров ключа для размещения их необходима большая площадь пульта. Кроме того, при таком расположении для устранения ошибок в посылке управляющих сигналов необходимо разделение операций управления на подготовительную и исполнительную, что в описанной схеме не предусмотрено.

в) Воспроизведение сигналов схемами с опрокидывающимися реле. Опрокидывающиеся реле применяются для сигнализации фирмами АЕГ и Броун-Бовери. Внешний вид этих реле изображен на фиг. 190.

Схема воспроизведения сигналов с опрокидывающимися реле в устройстве телеуправления Броун-Бовери изображена на фиг. 191. Для сигналов несоответствия применяется мигающий свет.

В положении соответствия, изображенном на фиг. 191, через контакты $K1_2$ командно-квитирующего ключа и контакты 1_2^2 сигнального реле замкнута цепь одной из сигнальных лампочек (на фиг. 191 красной), которая контактами $K1_2$ приключена непосредственно к плюсу источника тока и горит спокойным светом. Цепь другой лампочки через контакты $K1_1$ подготовлена для включения на прерывистый ток.

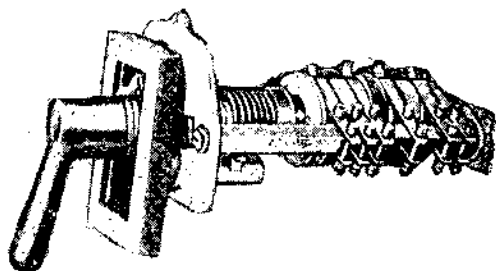


Фиг. 191. Принципиальная схема воспроизведения сигналов в устройстве телеуправления фирмы Броун-Бовери.

1^1 и 1^2 — обмотки сигнального реле; $K1$ — командно-квитирующий ключ; 2 — прерыватель; 3 и 4 — зеленая и красная сигнальные лампочки.

При переключении сигнального реле оно контактами 1_2^2 выключает красную сигнальную лампочку K_1 , а контактами 1_1^2 включает зеленую сигнальную лампочку 3_1 , которая загорается мигающим светом. При квитировании диспетчер, изменяя положение командно-квитирующего ключа, переключает его контактами $K1_1$ зеленую лампочку 3_1 с мигающего на спокойный свет, а контактами $K1_2$ подготавливает цепь мигающего света для красной лампочки.

Посылка управляющих сигналов производится при помощи контактов $K1a$ и $K1b$ командно-квитирующего ключа. В положении соответствия цепь обоих этих контактов разомкнута. При изменении положения ключа замыкается цепь управляющего сигнала, по своему значению противоположного тому положению, которое занимает в данный момент контролируемый объект. Одновременно сигнальная лампочка, соответствующая этому положению, переключается на мигающий свет, что позволяет диспетчеру проконтролировать свои действия.



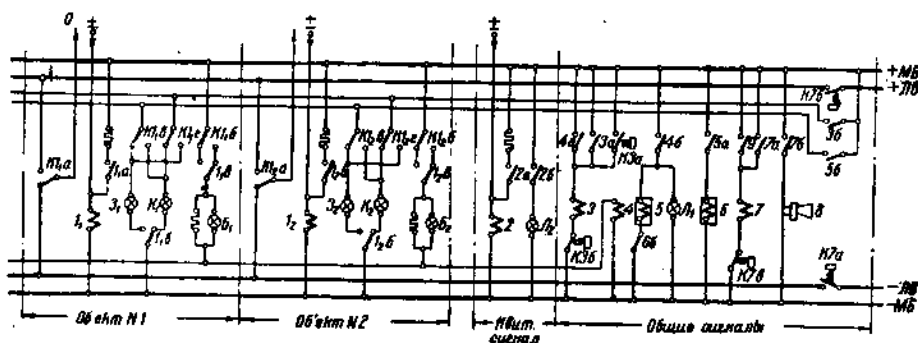
Фиг. 192. Командно-квитирующий ключ фирмы Броун-Бовери.

При получении обратного сигнала сигнальное реле, переключаясь, контактом $1a$ размыкает цепь посланного управляющего сигнала, подготавливая одновременно цепь противоположного сигнала.

Командно-квитирующий ключ в схеме Броун-Бовери представляет собой обычный рычажный переключатель поворотного типа. Внешний вид этого ключа изображен на фиг. 192.

г) **Воспроизведение сигналов схемами с электромагнитными реле.** Электромагнитные реле применяются для воспроизведения сигналов в устройствах телеуправления Сименс, Вестингауз, АЕГ, Мосэнерго, ВГИТЭС и др.

Ниже описывается схема сигнализации (инж. М. А. Гаврилова). Эта схема изображена на фиг. 193. Включение электромагнитных реле производится по схеме фиг. 183а. В качестве командноквитирующих ключей применяются телефонные кнопочные переключатели завода «Красная заря».



Фиг. 193. Принципиальная схема воспроизведения сигналов в устройстве телеуправления (инж. М. А. Гаврилова).

1 — сигнальное реле; К1 — командно-квитирующая кнопка; 2 — реле квитирующего сигнала; 3 — реле освещения; К3 — ключ для включения и выключения освещения; 4 — реле общего сигнала; 5 и 6 — пульс-реле; 7 — реле звукового сигнала; К7 — главный ключ; 8 — звуковой сигнал; Л1 — лампочка общего сигнала; Л2 — лампочка сигнала, «приказ принято»; 3 и К — зеленая и красная сигнальные лампочки; Б — лампочка несоответствия.

Рассмотрим процесс посылки управляющего сигнала и получения обратного.

На фиг. 193 реле и командно-квитирующие кнопки изображены в положении, соответствующем выключенным объектам. Через контакты 16 сигнальных реле и контакты К12 кнопок включены красные сигнальные лампочки.

При изменении положения командно-квитирующей кнопки К1, она, переключая свои контакты К1,6, замыкает цепь сигнальной лампочки несоответствия Б. Цепи всех лампочек несоответствия соединяются с источником тока через обмотку реле 4, так что одновременно с загоранием любой из этих лампочек действует и это реле. При включении реле 4 оно своими контактами 4а замыкает цепь реле 3, а контактами 4б включает общую сигнальную лампочку Л1 и пульс-реле 5. Параллельно белой лампочке несоответствия в каждой цепи включено сопротивление, которое обеспечивает действие реле 4 в случае перегорания лампочки несоответствия. Реле 3, включаясь, контактами 3а блокирует себя во включенном состоянии, а контактами 3б включает цепь красных и зеленых сигнальных лампочек на диспет-

черском щите (нормально для уменьшения расхода электрической энергии и для увеличения срока службы сигнальных лампочек освещение диспетчерского щита может быть выключено).

Как уже упоминалось выше, реле 4 контактами 4б одновременно с включением общей сигнальной лампочки L_1 включает пульс-реле 5. Это реле, притягивая свои контакты, замыкает цепь реле 6 (контактами 5а). Последнее, притягиваясь, замыкает контактами 6б цепь реле 5, которое, отпуская свои контакты, размыкает цепь реле 6. Это реле, выключаясь, снова замыкает цепь реле 5, которое, включая свои контакты, снова включает реле 6, и т. д.

В результате реле 5 и 6 попеременно включаются и выключаются, причем реле 5 своим контактом 5б то замыкает, то размыкает цепь плюсовой батареи, служащего для освещения сигнальных лампочек диспетчерского щита, давая прерывистый ток на шину а.

По загоранию общей сигнальной лампочки и лампочки несоответствия и миганию красной сигнальной лампочки диспетчер может проверить правильность предпринимаемого им переключения.

Контактами $K1а$ кнопка $K1$ соединяет провод, идущий к передающему устройству, с плюсом или минусом источника тока, подготовляя таким образом посылку управляющего сигнала. Сигнал этот будет послан, однако, только тогда, когда будет нажат главный управляющий ключ $K7$, который своими контактами $K7а$ и $K7б$ соединит контакты $K1а$ командно-квитирующих кнопок с источником тока и передающее устройство будет пущено в ход нажимом на пусковую кнопку (на фиг. 193 не показана).

При переключении объекта будет передан обратный сигнал. В рассматриваемом случае включения объекта сигнальное реле 1_1 получит плюс источника тока. При этом оно притянет свой якорь и, заблокировав себя во включенном состоянии через контакты $1_1а$, зафиксирует новое положение объекта. При этом, переключив свои контакты $1_1б$, реле 1 разорвет цепь лампочки несоответствия B_1 . Одновременно будет разомкнута цепь реле 4, и это реле выключит реле 3, 5 и 6, прекратив горение общей сигнальной лампочки L_1 и мигание. Контактами $1_1б$ реле 1 выключит красную сигнальную лампочку и включит зеленую сигнальную лампочку, которая будет гореть спокойным светом и указывать, что контролируемый объект включен.

Одновременно с получением обратного сигнала контактами 9 замыкается цепь реле 7, которое контактом 7а блокирует себя во включенном состоянии, а контактом 7б включает звуковой сигнал.

Для обратного сигнала о приеме команды в случае командной сигнализации (см. стр. 172) служит реле 2. Это реле при получении плюса включается и блокируется при помощи своего контакта 2а во включенном состоянии, а контактом 2б включает лампочку L_2 , освещающую табло «приказ принять».

При выполнении команды с контролируемой установки вместе обратными сигналами о переключении передается минус источника тока, который, попадая на реле 2, деблокирует его.

Выключение реле 7 производится при помощи главного ключа $K7$. Этот ключ имеет три положения (нейтральное и два рабочих).

В одном из рабочих положений он замыкает контакты $K7a$ и $K7b$, о которых говорилось выше. В другом он размыкает контакты $K7a$, разрывая цепь катушки реле 7.

Выключение реле 3, а вместе с тем и выключение освещения схемы, производится при помощи специального ключа $K3$, который, так же как и ключ $K7$, имеет три положения. В одном из них этот ключ, размыкая свой контакт $K3b$, разрывает цепь реле 3, в другом, замыкая свой контакт $K3a$, включает реле 3. Это дает возможность включить освещение схемы диспетчерского щита от руки.

Описанная схема с электромагнитными реле полностью удовлетворяет всем поставленным выше требованиям.

Заканчивая описание схем воспроизведения сигналов, упомянем, что в некоторых случаях для менее важных объектов целесообразно применять, как уже говорилось выше, общее квитирование сигналов, которое будет описано на стр. 300, при рассмотрении сигнализации направления мощности.

44. Командование и управление

Как уже говорилось выше, функции командных и управляющих реле несколько отличаются от функций сигнальных реле. Если сигнальное реле, получив сигнал, должно зафиксировать его до получения противоположного сигнала, то командное реле, получив сигнал, должно зафиксировать его только до исполнения команды. Это особенно необходимо при непосредственном управлении масляными выключателями, так как наличие команды в течение длительного промежутка времени может вызвать упоминавшееся выше явление — так называемые «качания» масляного выключателя.

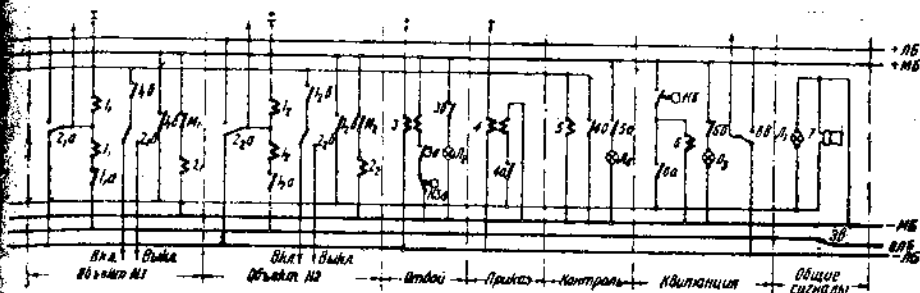
Ниже приводится описание схемы управления и командования (инж. М. А. Гаврилова). Схема управляющих и командных цепей приведена на фиг. 194.

Для приема командных сигналов служат командные реле 1, обмотки которых включаются через контакты $2a$ промежуточных реле 2. Последние присоединены к сигнальным контактам объектов (контакты M) и служат, с одной стороны, для того, чтобы отделить командные цепи и цепи передачи сигналов от напряжения оперативных цепей, имеющегося на сигнальных контактах объектов, а с другой стороны — для того, чтобы уменьшить количество сигнальных контактов на масляном выключателе и уменьшить проводку от этих контактов.

Рассмотрим действие командных цепей.

Пусть на контролируруемую установку передан сигнал о включении объекта № 1. При получении этого сигнала обмотка командного реле 1_1 получит плюс линейной батареи. Так как обмотка этого реле включена с другого конца через контакты 2_1a промежуточного реле на минус линейной батареи, то реле 1_1 включится. При этом оно контактами 1_1a заблокирует себя во включенном состоянии через свою вторую обмотку, контактами 1_1b включит общую сигнальную лампочку L_1 и звуковой сигнал 7, а контактами $1_1в$ включит освещение табло «включить» (через контакты 2_1b промежуточного реле). При включении объекта его сигнальные контакты M_1 включают промежуточное реле 2_1 .

которое переключит свои контакты 2_{1а} и 2_{1б}. При переключении контактов 2_{1а} цепь блокирующей обмотки командного реле будет на мгновение разорвана, и это реле деблокируется. Одновременно контакты 2_{1а} промежуточного реле переключат обмотку командного реле на плюс линейной батареи, подготовив таким образом цепь для получения команды о выключении масляного выключателя. Kontakтами 2_{1б} промежуточного реле будет выключена цепь освещения табло «включить» и будет подготовлена цепь табло «выключить».



Фиг. 194. Схема командования и управления с электромагнитными реле.

1 — командные реле; 2 — промежуточное реле; 3 — реле отбоя; 4 — реле отбоя; 5 — реле отбоя; 6 — реле отбоя; 7 — реле отбоя; 8 — реле отбоя; 9 — реле отбоя; 10 — реле отбоя; 11 — реле отбоя; 12 — реле отбоя; 13 — реле отбоя; 14 — реле отбоя; 15 — реле отбоя; 16 — реле отбоя; 17 — реле отбоя; 18 — реле отбоя; 19 — реле отбоя; 20 — реле отбоя; 21 — реле отбоя; 22 — реле отбоя; 23 — реле отбоя; 24 — реле отбоя; 25 — реле отбоя; 26 — реле отбоя; 27 — реле отбоя; 28 — реле отбоя; 29 — реле отбоя; 30 — реле отбоя; 31 — реле отбоя; 32 — реле отбоя; 33 — реле отбоя; 34 — реле отбоя; 35 — реле отбоя; 36 — реле отбоя; 37 — реле отбоя; 38 — реле отбоя; 39 — реле отбоя; 40 — реле отбоя; 41 — реле отбоя; 42 — реле отбоя; 43 — реле отбоя; 44 — реле отбоя; 45 — реле отбоя; 46 — реле отбоя; 47 — реле отбоя; 48 — реле отбоя; 49 — реле отбоя; 50 — реле отбоя; 51 — реле отбоя; 52 — реле отбоя; 53 — реле отбоя; 54 — реле отбоя; 55 — реле отбоя; 56 — реле отбоя; 57 — реле отбоя; 58 — реле отбоя; 59 — реле отбоя; 60 — реле отбоя; 61 — реле отбоя; 62 — реле отбоя; 63 — реле отбоя; 64 — реле отбоя; 65 — реле отбоя; 66 — реле отбоя; 67 — реле отбоя; 68 — реле отбоя; 69 — реле отбоя; 70 — реле отбоя; 71 — реле отбоя; 72 — реле отбоя; 73 — реле отбоя; 74 — реле отбоя; 75 — реле отбоя; 76 — реле отбоя; 77 — реле отбоя; 78 — реле отбоя; 79 — реле отбоя; 80 — реле отбоя; 81 — реле отбоя; 82 — реле отбоя; 83 — реле отбоя; 84 — реле отбоя; 85 — реле отбоя; 86 — реле отбоя; 87 — реле отбоя; 88 — реле отбоя; 89 — реле отбоя; 90 — реле отбоя; 91 — реле отбоя; 92 — реле отбоя; 93 — реле отбоя; 94 — реле отбоя; 95 — реле отбоя; 96 — реле отбоя; 97 — реле отбоя; 98 — реле отбоя; 99 — реле отбоя; 100 — реле отбоя.

При непосредственном управлении объектами командные реле воздействуют на включающую и выключающую катушки объекта, которые включаются в этом случае вместо табло «включить» и «выключить».

Помимо пересоединения обмоток командного реле контакты 2_{1а} промежуточного реле передают плюс или минус линейной батареи на передающее устройство для передачи обратных сигналов в диспетчерский пункт.

Контакты 16 присоединены к минусу местной батареи через обмотку реле 5, которая при получении сигнала шунтируется контактами 46 реле 4. Последнее включается от цепей проверки правильности передачи сигналов в конце цикла передачи (в устройствах кодового типа или в устройствах с комплементарной защитой) или же в начале передачи (в устройствах с проверкой правильности передачи на каждом шаге) и служит таким образом в качестве реле, разрешающего выполнение сигнала.

Реле 5 служит для предупреждения случайного переключения объекта и явления «качаний» в случае разрегулировки контакта 16 и нахождения его в замкнутом состоянии при обесточенном реле 1.

Сопротивление обмотки реле 5 выбрано таким образом, что командные цепи, будучи включены последовательно с обмоткой этого реле, не действуют, само же реле включается. Поэтому при разрегулировке контакта 16 в спокойном положении устройства команды не будет, так как контакты 46, шунтирующие обмотку реле 5, будут выключены, и обмотка реле 5 окажется включенной последовательно с командными

цепями. Само же реле 5 при этом включится, включив одновременно своим контактом сигнальную лампочку L_4 , сигнализирующую о неисправности в командных цепях.

В случае необходимости отмены посланных команд диспетчер может это сделать путем посланки специального сигнала «отбой»:

При получении этого сигнала на контролируемой установке включается реле 3 (обмотка этого реле получает через передающее устройство плюс линейной батареи).

Это реле своими контактами $3a$ блокирует себя во включенном состоянии через свою вторую обмотку, контактами $3b$ включает сигнальную лампочку L_2 (параллельно сигнальной лампочки L_2 может быть включен специальный звуковой сигнал «отбой»), а контактами $3c$ размыкает блокирующие цепи всех управляющих реле, отсоединяя их от средней точки линейной батареи. Управляющие реле благодаря этому возвращаются в спокойное положение.

Деблокирование реле 3 и прекращение сигнала «отбой» производятся путем нажима на кнопку $K3$, которая разрывает блокирующую цепь реле 3.

В случае если исполнение команды требует некоторого времени, дежурный контролируемой установки по получении командного сигнала посылает в диспетчерский пункт квитанцию в его приеме. Посылка квитанции производится путем нажима на кнопку $K6$, которая включает реле 6. Это реле контактами $6a$ блокирует себя во включенном состоянии, контактами $6b$ включает сигнальную лампочку L_2 , а контактами $6c$, так же как и промежуточные реле 2, посылает сигнал о включении в диспетчерский пункт.

В диспетчерском пункте этот сигнал, как уже говорилось выше, воздействует на реле 2 (фиг. 193).

Так как блокирующий контакт реле 6 на контролируемой установке присоединен к цепи общего сигнала, получающего питание через контакты $1b$ командных реле, то это реле будет находиться во включенном состоянии до того момента, пока не будут выполнены все команды, посланные из диспетчерского пункта. При выключении последнего из командных реле блокирующая цепь реле 6 будет разорвана, и оно выключится. При выключении реле 6 в диспетчерский пункт будет послан минус линейной батареи, в соответствии с чем реле 2 в диспетчерском пункте будет деблокировано.

Помимо электромагнитных реле в схемах управления и командования, так же как и в схемах воспроизведения сигналов, применяются поляризованные и опрокидывающиеся реле. Мы не будем подробно рассматривать эти схемы и остановимся только на некоторых методах предохранения от «качаний» выключателей.

Как уже указывалось в гл. 4 настоящего раздела, явление качания может возникнуть при управлении масляными выключателями, если в устройствах телеуправления команда, посланная на контролируемую установку, может действовать в течение времени, большего, чем это необходимо для одного переключения масляного выключателя. В этом случае при включении масляного выключателя на короткое замыкание и выключении его от защитных реле масляник благодаря на-

личию команды снова включается от командного реле, снова выключается от защиты и т. д.

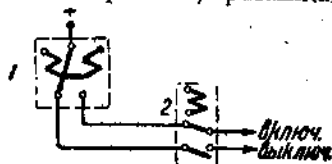
Длительное существование команды имеет место в кабельных и комбинационных устройствах телеуправления, а также во всех тех устройствах, в которых элементы послышки получают во время управления длительное соединение с управляющими цепями на контролируемой установке (устройства телеуправления распределительного типа с остановкой искателей при посылке команды, устройства телеуправления кодового типа с предварительным выбором и т. п.).

В описанной выше схеме с электромагнитными реле возможность качаний предупреждается тем, что командное реле остается включенным только до момента выполнения команды.

В устройствах телеуправления Джeneralь Электрик К⁰ с поляризованными командными реле для предупреждения качаний применяется способ, изображенный на фиг. 195. Цепи включения и выключения от командного реле 1 проходят здесь через контакты вспомогательного реле 2.

При получении команды одновременно с переключением масляного выключателя переключается и вспомогательное реле 2, размыкая своими контактами цепь команды. Так, например, при посылке команды «включить» (контакты командного реле 1 в правом положении) одновременно с переключением масляного выключателя реле 2 размыкает свои верхние контакты и замыкает нижние контакты, разорвав таким образом цепь включения масляного выключателя и подготовив цепь выключения его. Реле 2 переключается под действием командного реле 1. Поэтому при непроизвольном выключении масляного выключателя, например, при выключении его от действия защиты, для обратного включения его из диспетчерского пункта диспетчер должен первоначально перевести командно-квитирующий ключ в положение выключения, заставив этим вспомогательное реле 2 разорвать цепь выключения и подготовить цепь включения. Только после этого он может послать команду включения.

В устройстве телеуправления с моторными искателями фирмы Сименс применяется схема, приведенная на фиг. 196. Командные сигналы воспринимаются трехпозиционным поляризованным реле 1, контакт 1а которого в зависимости от полярности полученного импульса включает реле 2 или 3. Последние своими контактами 2а или 3а замыкают управляющие катушки масляного выключателя. Поляризованное реле 1 имеет блокирующие обмотки, которые по получении сигнала и включении одной из катушек реле 2 или 3 блокируют его во включенном состоянии на все время, необходимое для осуществления переключения масляного выключателя. Это время определяется реле 4, имеющим выдержку времени и размыкающим по истечении этой выдержки своим контактом 4а цепь блокирующих обмоток реле 1.

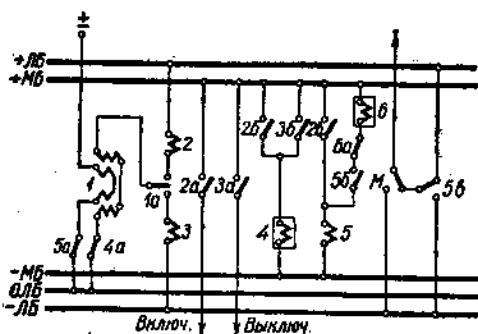


Фиг. 195. Схема предохранения от качаний в устройстве телеуправления фирмы Джeneralь Электрик К⁰.

1 — командное реле; 2 — вспомогательное реле.

Для предупреждения повторного включения масляного выключателя при выключении его от защиты служат реле 5 и 6. Реле 5, кроме того, обеспечивает в этом случае получение правильного сигнала о включении и последующем выключении масляного выключателя в диспетчерском пункте. Это необходимо потому, что искателю для достижения контакта, на котором передается обратный сигнал, необходимо некоторое время. Поэтому при включении масляного выключателя на короткое замыкание и выключении его от защиты сигнал о включении его может остаться не переданным в диспетчерский пункт, и диспетчер будет думать, что его команда осталась невыполненной.

При получении командного сигнала о включении реле 1 описанным выше путем включает реле 2. Это реле помимо замыкания цепи, включающей катушки масляного выключателя, своим контактом 2в замкнет



Фиг. 196. Схема включения командных реле в устройстве телеуправления фирмы Сименс.

1 — командное реле; 2 — реле включения; 3 — реле выключения; 4 — деблокирующее реле; 5 — реле ложного сигнала; 6 — реле времени.

цепь реле 5, которое блокируется во включенном состоянии контактами 5б через обмотку реле 6 и контакты 6а. При этом контактом 5а это реле размыкает цепь главных катушек реле 1, благодаря чему последующие сигналы этим реле восприниматься не будут до тех пор, пока реле 5 снова не будет выключено. Контакт 5в реле 5 переключает правую клемму сигнального контакта $М$ масляного выключателя с плюса линейной батареи на минус. Поэтому при включении масляного выключателя на короткое замыкание и выключении его от действия защиты в диспетчерский пункт, несмотря на то, что масляный выключатель находится уже в выключенном положении (контакты $М$ в правом положении), будет послан сигнал, полярность которого будет соответствовать включенному положению масляного выключателя. При этом в диспетчерском пункте сработает сигнальное реле, которое, как это было описано на стр. 287, предупредит вторичную посылку сигнала. По истечении времени выдержки реле 6 последнее разомкнет свой контакт 6а и деблокирует реле 5, приведя его в спокойное положение. При этом контакты 5б снова соединят правую клемму сигнального контакта $М$ с плюсом линейной батареи, и в диспетчерский пункт будет послан сигнал о выключении масляного выключателя. Диспетчер получит, таким образом, сперва сигнал о включении масляного выключателя, а затем сигнал о выключении его.

Описанная схема обладает большой сложностью. Это усложнение вызвано тем, что предупреждение повторного включения масляного выключателя происходит на стороне диспетчерского пункта, а не на

самой контролируемой установке. При осуществлении этого предохранения на контролируемой установке схемы командных цепей получаются, как это можно было видеть из описания схемы фиг. 195, значительно проще. Правда, эти схемы не дают правильной сигнализации в случае включения масляного выключателя на короткое и выключения его под действием защиты. Однако итти на значительное усложнение командных и управляющих цепей и значительное увеличение количества реле на объект ради получения этих сигналов не стоит, так как при включении масляного выключателя на короткое диспетчер узнает об этом помимо устройства телеуправления по тем явлениям, которые происходят в это время в сети.

45. Передача распорядительных и известительных сигналов

Передача распорядительных и известительных сигналов имеет некоторые особенности по сравнению с передачей командных и управляющих сигналов.

В большинстве случаев на различные контролируемые установки приходится посылать одни и те же распорядительные сигналы, в связи с чем посылка этих сигналов может производиться от одних и тех же посылающих кнопок. Это обстоятельство позволяет значительно сократить количество кнопок на диспетчерском пульте. Можно иметь, например, только один комплект кнопок, используемый для посылки сигналов на все контролируемые установки.

Вторая особенность при посылке распорядительных сигналов состоит в том, что чаще всего одновременно на контролируемую установку передается только один распорядительный сигнал.

Так как распорядительные сигналы состоят обычно из небольшого числа одних и тех же слов, то это позволяет применить при посылке их своеобразное кодирование. Все сигналы разбиваются на небольшое число составных частей — слов, общих для ряда сигналов. Из этих составных частей требуемые сигналы могут быть набраны в любой комбинации и для любой из контролируемых установок. Такое кодирование при посылке распорядительных сигналов позволяет значительно уменьшить количество посылающих кнопок. Так, например, при разбивке сигналов так, как это указано на табл. 3, можно при помощи девяти кнопок посылать 14 различных распорядительных сигналов.

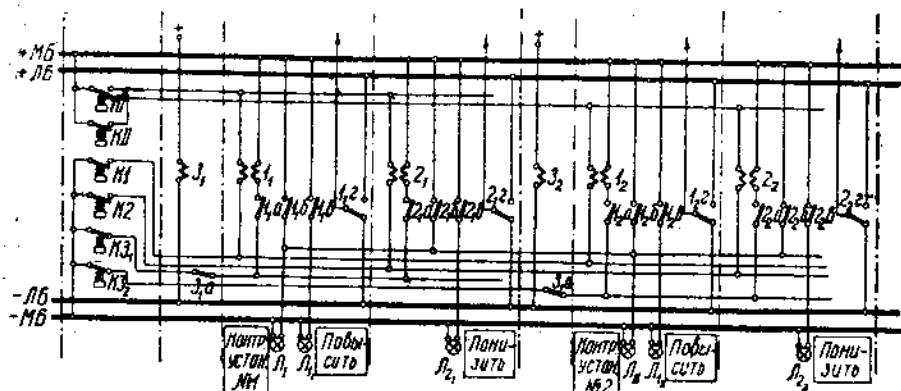
ТАБЛИЦА 3

Разбивка распорядительных сигналов на составные части

Повысить — включить			Понизить — выключить			
Напряжение	Нагрузку	Частоту	Резерв	1-ю очередь	2-ю очередь	Брою

Схемы посылки и приема распорядительных сигналов в том виде, как они разработаны для устройства телеуправления (инж.

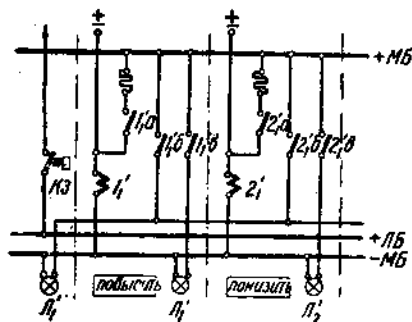
М. А. Гаврилова), изображены на фиг. 197 и 198. На схеме фиг. 197 представлены цепи посылки в диспетчерском пункте для двух распорядительных сигналов и двух контролируемых установок. На схеме фиг. 198 представлены цепи приема двух распорядительных сигналов для одной из контролируемых установок.



Фиг. 197. Схема посылки распорядительных сигналов.

KI и KII — кнопки выбора контролируемых установок; K_1 и K_2 — кнопки выбора сигналов; K_3 — кнопки отбоя; 1 и 2 — реле посылки сигнала; 3 — реле квитации.

Кнопки выбора контролируемой установки и кнопки набора распорядительных сигналов помещаются обычно на диспетчерском пульте. Световые табло с сигналами размещаются или на диспетчерском щите около схемы соответствующей контролируемой установки или же на специальной панели.



Фиг. 198. Схема приема распорядительных сигналов.

$1'$ и $2'$ — реле приема сигналов; K_3 — кнопка посылки квитации; L_1 — общая сигнальная лампочка; L_1' и L_2' — лампочки распорядительных сигналов.

При нажатии на любую из кнопок распорядительных сигналов замыкаются цепи реле, принадлежащих данному сигналу всех установок. Однако в действие придут только реле, принадлежащие контролируемым установкам, у которых включена общая кнопка, так как обмотки других реле будут отсоединены от плюса источника тока.

При включении реле распорядительного сигнала оно контактами *1a* блокирует себя во включенном состоянии через свою вторую обмотку, а контактами *1б* и *1в* включает световые табло, принадлежащие данному сигналу и данной установке. Одновременно через контакты *1г* реле подает плюс линейной батареи на устройство для передачи сигналов. Проверив по освещению световых табло правильность посылаемого сигнала, диспетчер пускает передающее устройство, которое передает все сигналы на контролируемую установку. Здесь сигналы воздействуют на приемные сигнальные реле (*1'* и *2'* на схеме фиг. 198). При получении плюса эти реле включаются, причем контактами *a* блокируют себя во включенном состоянии, а контактами *б* и *в* включают лампочку светового табло с соответствующим сигналом, общую сигнальную лампочку *Л₁* и звуковой сигнал (на схеме фиг. 198 не показан). Для квитирования сигнала дежурный на подстанции должен нажать квитирующую кнопку *КЗ* и пустить передающее устройство в ход. При этом в диспетчерский пункт передается квитирующий сигнал, который воздействует там на квитирующее реле *З* (фиг. 197) соответствующей контролируемой установки. Это реле, включаясь на момент получения сигнала, своими контактами *3a* разрывает блокирующие цепи реле распорядительных сигналов, отчего они выключаются, а контактами *3б*, не показанными на фиг. 197, повторно запускает передающее устройство.

При выключении реле распорядительных сигналов они своими контактами *г* присоединяют соответствующий контакт передающего устройства к минусу линейной батареи. При повторном действии передающего устройства минус передается на контролируемую установку, где он, воздействуя на реле приема сигнала, деблокирует их.

Выключение освещения табло в диспетчерском пункте при деблокировании реле распорядительных сигналов сигнализирует диспетчеру о том, что посланные им сигналы на контролируемой установке приняты. Последующее же выключение реле приема сигналов и освещения табло сигналов на контролируемой установке сигнализирует дежурному персоналу установки, что его квитанция получена в диспетчерском пункте. Это обеспечивает взаимный контроль передачи и приема сигналов.

46. Автоматическая известительная сигнализация

Автоматическая известительная сигнализация по характеру посылки аналогична контрольной сигнализации о переключении выключателей, с той разницей, что цепи посылки на контролируемых установках замыкаются не вспомогательными контактами на валу выключателя, а контактными вольтметрами (сигнализация короткого замыкания), контактными манометрами (давление пара) и другими приборами или реле. Прием сигнализации осуществляется на табло аналогично распорядительной сигнализации.

Однако в зависимости от характера сигнализируемого явления, конструкции передающего прибора и других причин возможны различные схемы и различные требования к характеру сигнализации.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ И МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

ГЛАВА XII

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ И МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

48. Основные проблемы

Как указывалось в первой части настоящей книги, автоматическое регулирование частоты и мощности в больших энергосистемах необходимо, главным образом, для обеспечения нормальной работы самих энергосистем. Поддержание частоты в границах, необходимых для нормальной работы потребителей, может быть обеспечено скоростными регуляторами турбин и ручным регулированием. Сравнительно легко также удовлетворить требованиям к постоянству частоты, предъявляемым синхронными часами, которые получили большое распространение за границей и, несомненно, должны получить распространение и в СССР. Для удовлетворительной работы синхронных часов необходимо точное поддержание средней частоты, мгновенная же частота может колебаться в значительных пределах. Поэтому и здесь для поддержания частоты в необходимых границах достаточно применение скоростных регуляторов и регулирования от руки.

Однако для обеспечения нормальной работы энергосистемы такого регулирования уже недостаточно. Колебания частоты при таком регулировании могут вызывать перераспределения нагрузок между связанными сетями, перегружая соединительные линии. Нагрузка энергосистемы при наличии потребителей с толчкообразной нагрузкой (электротяга, прокатные станы, электропечи и т. п.) может иметь очень беспокойный характер. Частота в сети при такой нагрузке испытывает резкие колебания, которые не могут быть отрегулированы от руки.

Задачи, возлагаемые на автоматические регуляторы частоты и мощности в больших энергосистемах, могут быть сформулированы следующим образом:

- а) Колебания частоты не должны превосходить 0,1—0,2%.
- б) Одновременно с регулированием частоты должна поддерживаться в определенных пределах нагрузка соединительных линий между связанными сетями.
- в) Должна быть обеспечена возможность распределения обязанностей по регулированию, с тем чтобы изменения нагрузки, вызывае-

мые регулированием, ложились не на одну станцию, а на несколько.

г) Должна быть обеспечена возможность передачи функций регулирования частоты и нагрузки с одной станции на другую во время работы без перерыва этой работы.

д) Действие регуляторов частоты и мощности не должно вызывать изменений нагрузки остальных станций, на которые не возложены обязанности по регулированию частоты и нагрузки соединительных линий.

е) Работа регуляторов частоты и мощности должна происходить правильно как при нормальном режиме работы энергосистемы, так и при авариях. В момент аварии (во время короткого замыкания, при отключении машин большой мощности, при отключении соединительных линий и т. п.) регуляторы не должны производить таких действий, которые ухудшали бы условия работы энергосистемы.

ж) Регулирование должно быть устойчиво и не вызывать недопустимых колебаний частоты и нагрузки в моменты переходных режимов.

Регулирование нагрузки турбин осуществляется обычно при помощи скоростных регуляторов. В больших энергосистемах применение скоростных регуляторов не дает удовлетворительного разрешения проблемы регулирования частоты и нагрузки. Для этого приходится применять специальные автоматические регуляторы частоты и мощности и специальные методы регулирования.

Телерегулирование, описываемое в гл. II настоящей части, которое собственно и может быть рассматриваемо, как относящееся полностью к проблеме телемеханизации, является лишь частью проблемы автоматического регулирования.

Если телеуправление часто конкурирует с автоматизацией, то все же конструктивно и по принципу действия оно легко рассматривается независимо от автоматики. Рассматривать телерегулирование независимо от автоматического регулирования невозможно в основном по конструктивным соображениям. Решение о применении телерегулирования в каждом отдельном случае, выбор типов авторегуляторов и присоединяемой к ним телемеханики — все это требует оценки всех возможностей, даваемых регуляторами.

Поэтому настоящая часть начинается с рассмотрения методов регулирования частоты и мощности и лишь затем переходит к проблеме телерегулирования.

В современных энергосистемах применяются следующие методы регулирования нагрузок:

- а) выделение станции или группы станций, ведущих по частоте;
- б) совместное регулирование частоты и нагрузки соединительных линий;
- в) регулирование по сетевым характеристикам;
- г) интегральное регулирование.

49. Регулирование при помощи скоростных регуляторов

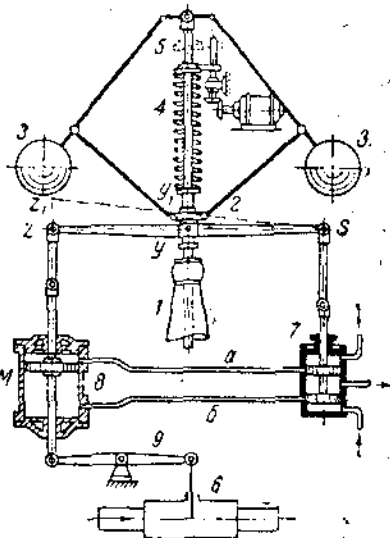
Принципиальная схема скоростного регулятора изображена на фиг. 206. Этот регулятор состоит из двух грузов 3, вращающихся на валу 1, соединенном с валом регулируемой машины редуктором. На

валу 1 сидит муфта 2, которая перемещается вверх или вниз под действием центробежной силы, развиваемой грузами 3. На эту муфту давит пружина 4, упирающаяся своим верхним концом в упор 5. Муфта воздействует на рычаг ZYS , к которому с одной стороны прикреплен шток золотника 7 (точка S), а с другой шток масляного сервомотора 8 (точка Z), с которым золотник 7 соединен при помощи двух маслопроводов a и b . При установившемся положении муфты регулятора поршень золотника 7 перекрывает оба отверстия маслопровода. Поршень сервомотора стоит в фиксированном положении и не может двигаться, вследствие того что оба маслопровода a и b закрыты золотником 7 и масло с обеих сторон поршня выходить не может.

Предположим, что нагрузка турбины уменьшилась, а количество энергии, подводимой с паром, осталось прежним. Турбина начнет увеличивать свое число оборотов, и муфта регулятора пойдет вверх. Так как в первый момент поршень сервомотора двигаться не может, то точка Z рычага ZYS будет оставаться на месте и перемещение муфты регулятора вверх вызовет перемещение вверх точки S . При этом поршень золотника переместится также вверх и соединит маслопровод b с впуском масла, а маслопровод a с выпуском. Под влиянием давления масла поршень сервомотора пойдет вверх и, перемещая рычаг 9, будет прикрывать паровпускной клапан, уменьшая одновременно количество пара.

Для прекращения движения поршня сервомотора M золотник 7 должен вернуться в начальное положение. Для этого служит так называемый «процесс обратной перестановки», который в рассматриваемом регуляторе осуществляется тем, что второй конец рычага соединен точкой Z непосредственно с поршнем M сервомотора. При перемещении поршня сервомотора вверх точка Z начинает также перемещаться, и рычаг ZYS , вращаясь вокруг точки Y , возвращает точку S , а вместе с ней и золотник, в прежнее положение, при котором оба маслопровода будут снова перекрыты. Если разбить процесс регулирования на малые промежутки времени, то движение рычага ZYS можно представить себе как вращение его в первый момент вокруг неподвижной точки Z , а во второй момент — как вращение его вокруг неподвижной точки Y . В действительности вращение вокруг точек Z и Y происходит одновременно.

В результате этого регулирования при новом установившемся состоянии, соответствующем новой величине нагрузки, поршень серво-



Фиг. 206. Принципиальная схема скоростного регулятора с сервомотором.

мотора M должен переместиться вверх. Вместе с ним должна занять новое положение и точка обратной перестановки Z . Так как точка S должна в конце процесса регулирования занять свое прежнее положение, соответствующее положению золотника, при котором оба маслопровода перекрыты, то новому положению точки Z должно соответствовать и новое положение точки Y , т. е. новое положение муфты регулятора, а это может иметь место только при другом числе оборотов регулятора. Каждой величине нагрузки должно соответствовать другое число оборотов, причем уменьшение нагрузки (уменьшение количества пара) должно соответствовать перемещению поршня сервомотора M и точки Z вверх. Вместе с точкой Z должна переместиться вверх и муфта регулятора, что будет соответствовать увеличению числа оборотов двигателя. В случае увеличения нагрузки (увеличение количества пара) поршень сервомотора M , точка Z и точка Y должны переместиться вниз, что соответствует уменьшению числа оборотов двигателя.

Регулирование имеет так называемый статический характер. Характеристика регулятора для этого случая изображена на фиг. 208 в виде прямой линии, наклоненной к оси абсцисс. Действительные характеристики скоростных регуляторов обычно несколько отличаются от прямой (фиг. 207).

Рассмотрим основные свойства скоростных регуляторов. Пусть n_1 — наименьшее из возможных во время работы двигателя чисел оборотов, соответствующее при нормальных параметрах рабочего вещества полной нагрузке двигателя, а n_2 — наибольшее число оборотов, соответствующее холостому ходу двигателя.

Отношение

$$\delta_{теор} = \frac{n_2 - n_1}{n_{ср}},$$

где

$$n_{ср} = \frac{n_1 + n_2}{2}$$

носит название коэффициента или степени неравномерности.

Регулятор во время своей работы должен преодолевать помимо полезных сопротивлений (сопротивление клапанов, находящихся под давлением, перестановочное сопротивление сервомотора и т. п.) еще и силы трения как в самом регуляторе, так и в парораспределении. Поэтому для приведения регулятора в действие необходимо изменение числа оборотов двигателя на некоторую конечную величину.

Пусть муфта регулятора занимает некоторое положение Y , соответствующее числу оборотов n и мощности двигателя N . Если нагрузка увеличится и число оборотов начнет уменьшаться, то, для того чтобы муфта регулятора пришла в движение, недостаточно бесконечно малого уменьшения числа оборотов, а нужно, чтобы число оборотов уменьшилось до некоторой величины n' , при которой перестановочная сила регулятора

$$AC = M\omega^2x - M\omega'^2x',$$

где M — масса вращающихся частей регулятора;
 ω и ω' — угловые скорости;
 x и x' — расстояние центра тяжести вращающихся масс от оси вращения,

сможет преодолеть имеющиеся в регуляторе сопротивления.

Точно так же при уменьшении нагрузки и увеличении числа оборотов для приведения регулятора в действие необходимо увеличение числа оборотов до величины n'' .

Таким образом регулятор не будет отзываться на изменение числа оборотов двигателя в пределах от n' до n'' , и муфта регулятора будет оставаться в покое.

Величина n'' и n' характеризует нечувствительность регулятора, а отношение

$$\epsilon = \frac{n'' - n'}{n}$$

называется коэффициентом или степенью нечувствительности регулятора.

Степень неравномерности регуляторов турбин по нормам не должна превышать 4%, т. е. при внезапной нагрузке турбины от холостого хода до полной мощности или внезапной разгрузке ее с полной мощности до холостого хода установившееся число оборотов не должно отличаться от первоначального больше, чем на 4%.

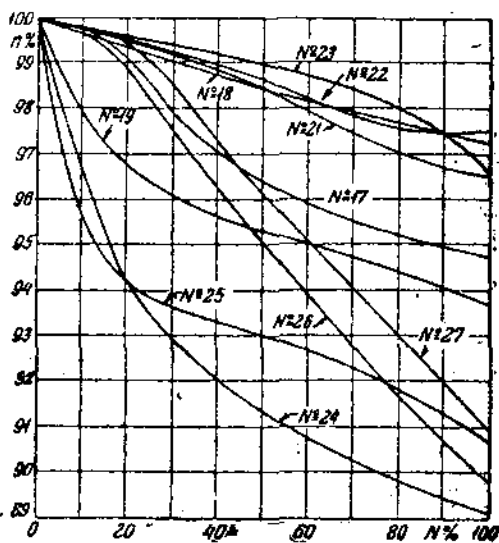
При постоянном режиме число оборотов турбины при всякой нагрузке, включая и холостой ход, не должно колебаться сильнее, чем на 0,5% от среднего значения.

В случае работы турбины на электрический генератор регулятор должен допускать безупречную параллельную работу турбины с другими турбинами.

Степень нечувствительности скоростных регуляторов турбин обычно не превышает 0,3—0,4%.

Рассмотрим, в какой степени можно удовлетворить поставленным выше требованиям к регулированию частоты и мощности в системе при наличии на турбинах станций только скоростных регуляторов.

В больших энергосистемах можно ожидать толчков нагрузки в 5—10% от общей мощности сети. Чтобы эти толчки не вызывали отклонения частоты от нормальной больше, чем на 0,1—0,2%, характе-

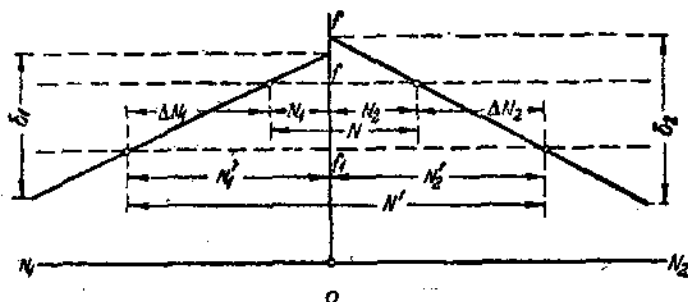


Фиг. 207. Характеристика скоростных регуляторов турбогенераторов, установленных на одной станции.

ристики скоростных регуляторов турбин должны иметь степень неравномерности не больше, чем в 2%.

В существующих энергосистемах не только регуляторы различных станций, но часто и регуляторы различных машин на одной станции имеют характеристики, значительно отличающиеся друг от друга (фиг. 207). При этом степень неравномерности регуляторов имеет величину в 2% только как исключение, в большинстве же случаев она составляет около 4%.

Поэтому для выполнения поставленных условий необходима значительная переделка всех регуляторов машин.



Фиг. 208. Распределение нагрузки между двумя параллельно работающими сигналами.

Рассмотрим вопрос о распределении нагрузки между параллельно работающими машинами. Пусть имеются две машины с характеристиками скоростных регуляторов согласно фиг. 208, где они для удобства рассмотрения нанесены в разные стороны от оси ординат. Пусть при нормальной частоте общая нагрузка N распределяется между машинами таким образом, что первая из них покрывает нагрузку N_1 , а вторая — нагрузку N_2 . Предположим теперь, что нагрузка в сети увеличилась до некоторой величины $N' = N + \Delta N$. Это увеличение нагрузки распределится между обеими машинами в соответствии с их характеристиками, причем, благодаря тому что нагрузка каждой из этих машин увеличится, частота в сети понизится.

Рассмотрим, какими факторами определяется величина общего понижения частоты в сети и каким образом толчок нагрузки распределяется между обеими машинами. Пусть коэффициенты неравномерности машин будут равны δ_1 и δ_2 , а их номинальные мощности N_{n1} и N_{n2} . Тогда изменение числа оборотов каждой машины будет определяться следующим уравнением:

Для первой машины

$$f_1 = f - \delta_1 \frac{\Delta N_1}{N_{n1}},$$

или

$$\Delta f = f - f_1 = \delta_1 \frac{\Delta N_1}{N_{n1}}$$

и для второй машины

$$f_1 = f - \delta_2 \frac{\Delta N_2}{N_{n_2}},$$

или

$$\Delta f = f - f_1 = \delta_2 \frac{\Delta N_2}{N_{n_2}},$$

где f — частота, бывшая в сети до изменения нагрузки¹;

f_1 — частота в сети после изменения нагрузки;

Δf — изменение частоты;

$\Delta N_1, \Delta N_2$ — изменение нагрузки машин;

N_{n_1}, N_{n_2} — номинальные мощности машин.

Обозначим отношение номинальной мощности машины к степени неравномерности

$$\frac{N_{n_1}}{\delta_1} = L_1 \quad \text{и} \quad \frac{N_{n_2}}{\delta_2} = L_2,$$

где L_1 и L_2 — так называемые нагрузочные коэффициенты машин (Leistungszahl), характеризующие изменение мощности машины при изменении числа оборотов на 1%.

Написанные выше уравнения примут при этом вид

$$\Delta f = \frac{\Delta N_1}{L_1} \quad \text{и} \quad \Delta f = \frac{\Delta N_2}{L_2},$$

отсюда

$$\frac{\Delta N_1}{L_1} = \frac{\Delta N_2}{L_2}, \quad \text{или} \quad \frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \frac{L_1}{L_2}.$$

Таким образом распределение толчка нагрузки между машинами будет происходить пропорционально их нагрузочным коэффициентам.

Абсолютная величина толчка нагрузки, падающей на каждую машину, определится, если написать полученную выше пропорцию в следующем виде:

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2 + \Delta N_1} = \frac{L_1}{L_2 + L_1},$$

или

$$\Delta N_1 = \Delta N \frac{L_1}{L_1 + L_2},$$

аналогично

$$\Delta N_2 = \Delta N \frac{L_2}{L_1 + L_2};$$

из соотношений

$$\Delta f = \frac{\Delta N_1}{L_1} \quad \text{и} \quad \Delta f = \frac{\Delta N_2}{L_2}$$

следует

$$\Delta N_1 = \Delta f L_1 \quad \text{и} \quad \Delta N_2 = \Delta f L_2,$$

отсюда

$$\Delta N = \Delta N_1 + \Delta N_2 = \Delta f (L_1 + L_2).$$

¹ f, f_1 и Δf — измеряются в относительных единицах.

Из этого уравнения можно определить величину изменения частоты в сети

$$\Delta f = \frac{\Delta N}{L_1 + L_2}.$$

Это изменение частоты подчиняется закону статической характеристики. Для того чтобы показать это, напомним выражения для изменения частоты несколько иначе:

$$f - f_1 = \frac{\Delta N}{\frac{N_{n_1}}{\delta_1} + \frac{N_{n_2}}{\delta_2}} = \frac{\Delta N}{\frac{N_{n_1} \delta_2 + N_{n_2} \delta_1}{\delta_1 \delta_2}}.$$

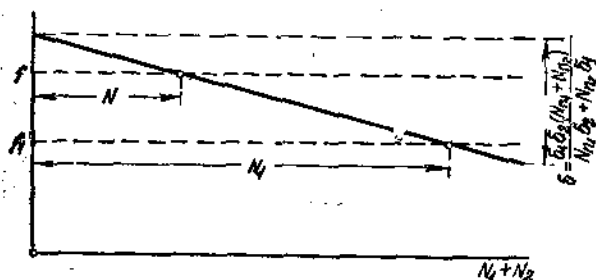
Разделим и умножим знаменатель правой части на $N_{n_1} + N_{n_2}$. Тогда

$$f - f_1 = \frac{\Delta N}{\frac{N_{n_1} \delta_2 + N_{n_2} \delta_1}{\delta_1 \delta_2 (N_{n_1} + N_{n_2})}},$$

или

$$f_1 = f - \frac{\delta_1 \delta_2 (N_{n_1} + N_{n_2})}{N_{n_1} \delta_2 + N_{n_2} \delta_1} \cdot \frac{\Delta N}{N_{n_1} + N_{n_2}} = f - \delta \frac{\Delta N}{N_{n_1} + N_{n_2}}.$$

Это уравнение представляет собой прямую, наклоненную к оси абсцисс и аналогичную статической характеристике машины (фиг. 209).



Фиг. 209. Эквивалентная характеристика станции.

Наклон этой характеристики определяется величиной постоянного коэффициента δ , имеющего значение коэффициента неравномерности.

Таким образом станцию с двумя параллельно работающими машинами можно представить себе как машину, имеющую номинальную мощность, равную сумме номинальных мощностей машин и работающую по статической характеристике с коэффициентом неравномерности, равным

$$\delta = \frac{\delta_1 \delta_2 (N_{n_1} + N_{n_2})}{N_{n_1} \delta_2 + N_{n_2} \delta_1}.$$

Таким же образом можно представить себе работу станции с несколькими машинами или работу целой сети с рядом станций.

Распределение нагрузки между станциями при наличии на машинах только скоростных регуляторов будет происходить поэтому в соответствии с наклоном эквивалентных статических характеристик станций. В покрытии толчков нагрузки будут участвовать все параллельно работающие станции.

Рассмотрим работу объединенной системы, состоящей из 10 одинаковой величины сетей с средней суточной нагрузкой, 300 MW.

Пусть все машины в системе имеют одинаковые скоростные характеристики со степенью неравномерности в 2%. Тогда характеристики отдельных станций и отдельных сетей также будут одинаковы и будут иметь степень неравномерности в 2%. Поэтому толчок нагрузки, возникнувший в одной из сетей, распределится между всеми 10 сетями равномерно. При этом сама сеть, в которой произошел толчок нагрузки, возьмет на себя $\frac{1}{10}$ этого толчка, а $\frac{9}{10}$ будут переданы ей через соединительные линии с другими сетями. Каждая сеть, воспринимающая толчок нагрузки другой сети, очевидно, воспримет также $\frac{1}{10}$ толчка. Нужно при этом различать характер изменения потребления в каждой сети: первый случай независимо от процессов, происходящих в других сетях, второй случай — нагрузка изменяется во всех сетях примерно в одно и то же время и в одной и той же закономерности (по графику потребления).

Рассмотрим сначала первый случай.

При изменениях нагрузки в сети на нагрузку соединительных линий накладывается мощность, передаваемая в данную сеть для покрытия толчка нагрузки от остальных сетей. Если схема соединений сетей, входящих в систему, образует звезду так, что вся приходящая и уходящая мощность поступает в сеть только через одну линию, то колебания нагрузки соединительных линий будут полностью соответствовать колебаниям выравнивающих потоков мощностей.

Поскольку каждая сеть воспринимает на себя $\frac{1}{10}$ толчка нагрузки, то через соединительную линию в сеть, в которой произошло изменение нагрузки, будет протекать мощность, равная $\frac{9}{10}$ толчка нагрузки. При меньшем количестве сетей изменение нагрузки соединительных линий будет иметь меньшую величину, и в самом благоприятном случае наличия двух сетей она будет составлять 50% от величины толчка нагрузки.

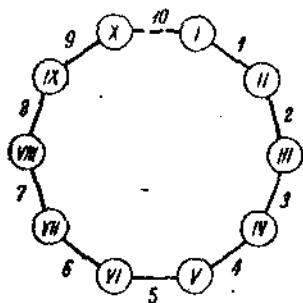
Если сети соединены последовательно друг за другом в виде открытого кольца (на фиг. 210 линия 10 разомкнута или не существует), то выравнивающая мощность, протекающая через сеть II от сети III для покрытия колебания нагрузки в сети I, составит $\frac{8}{10}$ от величины выравнивающей мощности, потребной сети I. Эта мощность достигает своей максимальной величины в наиболее неблагоприятном случае, когда в сети II возникает толчок нагрузки одновременно с толчком нагрузки в сети I. Колебание нагрузки в линии 2 составит тогда $2 \cdot \frac{8}{10} = 1,6$ от величины толчка нагрузки. В линии 3 при подобных же условиях наибольшее колебание нагрузки может составить $3 \cdot \frac{7}{10} = 2,1$ от величины толчка нагрузки. В линии 4 соответственно получим величину $4 \cdot \frac{6}{10} = 2,4$ и в линии 5 величину $5 \cdot \frac{5}{10} = 2,5$. Начиная с линии 6, величина максимальных колебаний будет такими же степенями уменьшаться. Так как возможность возникновения толчка нагрузки в трех сетях одновременно очень мала, а в четырех и пяти сетях почти исключена, то можно принять, что при последовательном соединении сетей максимальное колебание нагрузки соединительных линий будет достигать в наиболее неблагоприятном случае двухкратной величины от возможного толчка нагрузки.

Если сети, объединенные в систему, образуют, как на фиг. 210, замкнутый круг, то по соединительным линиям будет протекать только половина тех значений нагрузки, которые были получены выше для разомкнутого кольца.

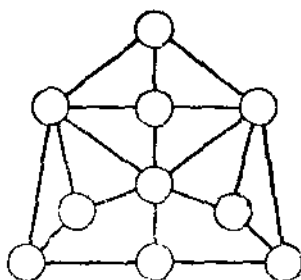
Таким образом величина колебания нагрузки соединительных линий в этом случае будет иметь размеры толчка нагрузки.

При смешанном соединении сетей, изображенном схематически на фиг. 211, величина колебаний нагрузки соединительных линий будет составлять $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ толчка нагрузки, поскольку для выравняющей мощности имеется всегда несколько параллельных путей.

Так как при соединении сетей в систему из соображений надежности каждая сеть, как правило, имеет два соединения с соседними сетями,



Фиг. 210. Схема энергосистемы с сетями, соединенными в ряд или кольцо.



Фиг. 211. Схема сложной объединенной энергосистемы.

то окончательно можно установить, что колебания нагрузки в соединительных линиях в наиболее неблагоприятных условиях не будут превосходить своими размерами величины возможных толчков нагрузки.

Рассмотрим теперь другой предельный случай, когда нагрузка изменяется во всех сетях одновременно и на одинаковую величину. Так как суммарное изменение нагрузки, как и в предыдущем случае, распределится равномерно между всеми сетями, то каждая из этих сетей покроет свое собственное изменение нагрузки. Обмен мощности между сетями и нагрузка соединительных линий останутся при этом без изменений. Весь процесс изменения нагрузки выразится в виде изменения частоты, которое в наиболее неблагоприятном случае изменения нагрузки на 10% достигнет согласно сделанным ранее допущениям величины 0,2%.

Таким образом при отсутствии специальных регуляторов и при выполнении поставленных выше условий об идентичности скоростных характеристик регуляторов отдельных сетей пропускная способность соединительных линий в энергосистемах должна быть такова, чтобы допускать колебания нагрузки, равные по своей величине возможному толчку нагрузки в каждой из сетей. При мощности отдельных сетей в 700—800 MW, что в условиях СССР будет иметь место в ряде случаев, толчки нагрузки могут составлять от 40 до 80 MW. Колебания нагрузки

такой величины могут быть допущены в соединительных линиях только в редких случаях.

Резюмируя сказанное выше о применении скоростных регуляторов, можно написать следующее:

а) Отклонение частоты в пределах $0,1-0,2\%$ могут быть получены только при наличии на всех машинах скоростных регуляторов со степенью неравномерности не больше 2% .

б) Нагрузка соединительных линий не поддерживается в определенных пределах. Колебание нагрузки этих линий может достигать величины толчка нагрузки в отдельной сети.

в) Регулирование частоты распределяется между всеми станциями и машинами энергосистемы. В соответствии с этим толчки нагрузки распределяются между всеми станциями и поддержание на них определенного графика осуществляется или при помощи регулирования от руки или же при помощи автоматических регуляторов мощности.

г) Для правильного действия регуляторов во время аварий необходимо, чтобы все они имели одинаковые характеристики.

Таким образом регулирование частоты при помощи скоростных регуляторов значительной части поставленных выше требований не удовлетворяет. Особое значение имеют здесь большие колебания нагрузки соединительных линий, которые могут сделать невозможной совместную работу отдельных сетей.

50. Регулирование частоты

Регулирование частоты посредством скоростного регулятора сводится к тому, что регулятор должен регулировать двигатель на различную нагрузку при одном и том же числе его оборотов. По отношению к паровой турбине это равносильно тому, что регулятор при одном и том же числе оборотов должен давать турбине различное количество пара. С точки зрения конструктивной схемы регулятора (фиг. 206) при одном и том же положении муфты регулятора (точка Y) поршень сервомотора (точка M), связанный с парораспределением, должен занимать различные положения.

Так как при установившемся состоянии доступ масла в сервомотор должен быть прекращен, то поршень золотника (точка S) должен занимать в этот момент совершенно определенное положение, при котором он перекрывает обе трубки, идущие к сервомотору.

Таким образом при установившемся состоянии и нормальной частоте точки Y и S рычага ZYS должны занимать вполне определенное положение в пространстве. Этим определяется также положение самого рычага ZYS и его точки Z , которая для поддержания нормальной частоты должна, следовательно, каждый раз при окончании процесса регулирования приходиться в одно и то же положение. Однако, как уже говорилось выше, поршень сервомотора M должен при этом занимать различное положение, в зависимости от нагрузки двигателя. Очевидно это будет возможно только в том случае, если связь между точками M и Z не будет жесткой, как это изображено на фиг. 206, а будет допускать перемещение точки M по отношению к точке Z . На этом принципе

осуществления гибкой связи между точками Z и M основан ряд автоматических регуляторов частоты, получивших название «изодромных» регуляторов.

Регулирование частоты возможно, однако, осуществлять и другим способом, сохраняя жесткую связь между точками Z и M . В этом случае, поскольку точка Z будет изменять свое положение вместе с точкой M , должно изменяться и положение точки Y , т. е. муфта регулятора при одном и том же числе оборотов будет занимать различные положения. Этого можно достичь изменением натяжения пружины регулятора.

На муфту регулятора при его работе действуют следующие силы:

- а) вес самой муфты Q ;
- б) составляющая G веса грузов, постоянная по величине;
- в) сила натяжения пружин F и
- г) составляющая C_y центробежной силы грузов $C = M\omega^2x$,

где $M = \frac{G}{g}$ — масса вращающихся грузов;

ω — угловая скорость;

x — расстояние центров тяжести грузов от оси вращения.

В установившемся состоянии центробежная сила должна уравновешиваться силой пружины и весом муфты и грузов:

$$C_y = Q + G + F.$$

Если изменить величину силы натяжения пружины F , то равновесие нарушится, и регулятор придет в действие. Так как величины Q и G для большинства регуляторов являются постоянными и не зависят от числа оборотов двигателя, то новое установившееся состояние и новое равновесие могут наступить только при другой величине центробежной силы, а вместе с тем и другом числе оборотов двигателя:

$$C_y' = Q + G + F'.$$

Практически это изменение сжатия пружины осуществляется тем, что верхний или нижний упоры пружины регулятора делаются подвижными и перемещаются вверх или вниз при помощи маленького электрического моторчика с соответствующей передачей (фиг. 206). Этот моторчик включается или от руки или от автоматического регулятора частоты.

Тех же результатов можно достигнуть, изменяя при вторичном регулировании, как это делают некоторые фирмы, положение точки S .

Это достигается в большинстве случаев при помощи перемещения вверх или вниз при вторичном регулировании цилиндра золотника 7.

Как было уже показано выше, при неизменном сжатии пружины характеристика регулятора $N = f(n)$ имеет статический характер и представляется прямой или кривой, наклоненной к оси абсцисс.

Если изменить сжатие пружины регулятора, то его характеристика также изменится, причем все точки новой характеристики будут лежать выше или ниже старой характеристики, в зависимости от того,

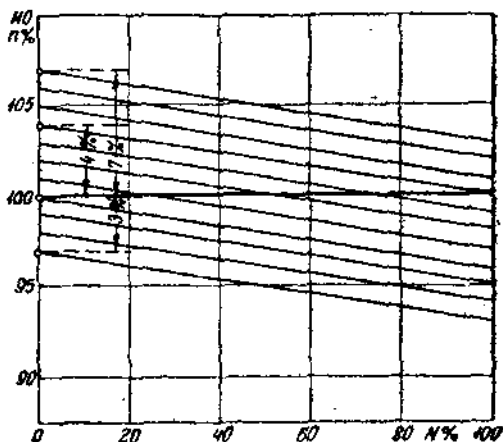
в какую сторону было изменено сжатие пружины. Каждому сжатию пружины регулятора будет, таким образом, соответствовать своя кривая, так что характеристика регулятора изобразится рядом кривых, расположенных друг над другом. Для случая линейной характеристики регулятора она изобразится семейством прямых, изображенных на фиг. 212 и вычерченных согласно нормам на регуляторы паровых турбин, т. е. для степени неравномерности регулятора в 4% и изменения числа оборотов турбины при холостом ходе от 3% до 7%.

Изменение сжатия пружины регулятора может производиться или от руки или от любого регулятора частоты, который в этом случае может устанавливаться независимо от регулятора турбины. Это является одним из больших преимуществ такого способа регулирования, так как позволяет устанавливать регулятор частоты дополнительно к уже существующему скоростному регулятору.

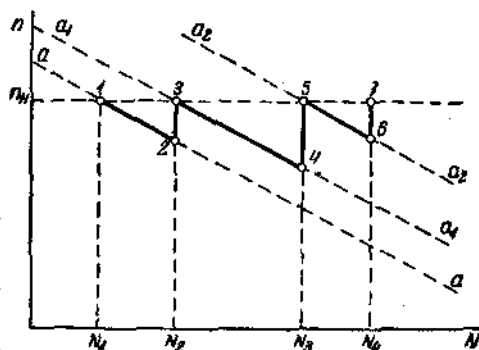
При применении изодромных регуляторов последние устанавливаются взамен обычных скоростных регуляторов.

На фиг. 213 представлено протекание процесса регулирования при нескольких последовательных увеличениях нагрузки с величины N_1

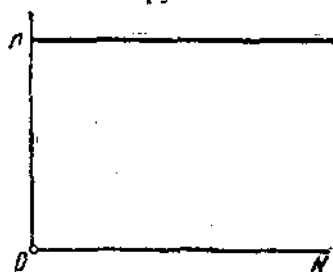
до величины N_4 . Как можно видеть из диаграммы, при изменении нагрузки с величи-



Фиг. 212. Характеристики скоростного регулятора паровой турбины, при разных силах сжатия пружины регулятора.



Фиг. 213. Регулирование частоты.



Фиг. 214. Астатическая характеристика регулятора.

ны N_1 до величины N_2 регулятор изменит число оборотов двигателя по характеристике aa , и процесс перейдет на диаграмме из точки 1 в точку 2. При воздействии на пружину регулятора число оборо-

тов двигателя при неизменной нагрузке должно повыситься до нормального. На диаграмме фиг. 213 это соответствует переходу процесса из точки 2 в точку 3. При дальнейшем изменении числа оборотов двигателя регулирование будет происходить уже не по характеристике aa , а по характеристике a_1a_1 . Процесс при этом перейдет из точки 3 в точку 4. При последующем регулировании процесс перейдет из точки 4 в точку 5 и число оборотов двигателя станет снова нормальным и т. д.

В описанном процессе регулирования частота при всех нагрузках возвращается к нормальной, и статическая характеристика регулятора превращается в астатическую (фиг. 214). Процесс регулирования частоты можно представить себе таким образом, что в действие скоростного регулятора, имеющего статическую характеристику, вносится от руки или автоматически астатическая поправка, возвращающая число оборотов двигателя после каждого изменения нагрузки к нормальной величине. При ручном регулировании частоты эта поправка вносится после окончания действия скоростного регулятора, а при автоматическом регулировании одновременно с ним.

В дальнейшем мы будем называть действие скоростного регулятора «первичным» регулированием, а процесс внесения астатической поправки как при регулировании от руки, так и при автоматическом регулировании — «вторичным» регулированием.

51. Автоматические регуляторы частоты

а) Изодромные регуляторы. Конструктивная схема изодромного регулятора изображена на фиг. 215. Как уже упоминалось выше, в изодромном регуляторе поршень сервомотора M может перемещаться независимо от точки обратной перестановки Z , которая по окончании процесса регулирования должна каждый раз возвращаться в определенное положение в пространстве, соответствующее нормальному числу оборотов двигателя. Для осуществления гибкой связи между точками M и Z в изодромном регуляторе служит масляный катаракт 10. Этот катаракт представляет собой цилиндр, наполненный маслом, в котором ходит поршень. Нижняя и верхняя полости цилиндра соединены трубкой, через которую совершается перепуск масла. Цилиндр катаракта соединяется с поршнем сервомотора, а поршень его — с точкой обратной перестановки Z . Благодаря такому устройству, точка обратной перестановки Z получает возможность перемещения независимо от поршня сервомотора. Свобода перемещения точки Z относительно поршня сервомотора M не абсолютна, поскольку это перемещение может осуществляться только с определенной скоростью, диктуемой скоростью перепуска масла по соединительной трубке катаракта. Для возвращения точки Z в положение, соответствующее нормальному числу оборотов, служит пружина 11, которая жестко соединена с точкой Z и помещена в цилиндр. При перемещении точки Z в ту или другую сторону пружина 11 сжимается и под влиянием ее силы точка Z всегда стремится возвратиться в нормальное положение.

Рассмотрим действие изодромного регулятора. Предположим, что первоначально перепускная трубка масляного катаракта перекрыта. Тогда изодромный регулятор не будет ничем отличаться от обычного скоростного регулятора непрямого действия, так как точка *Z* будет жестко связана с точкой *M*.

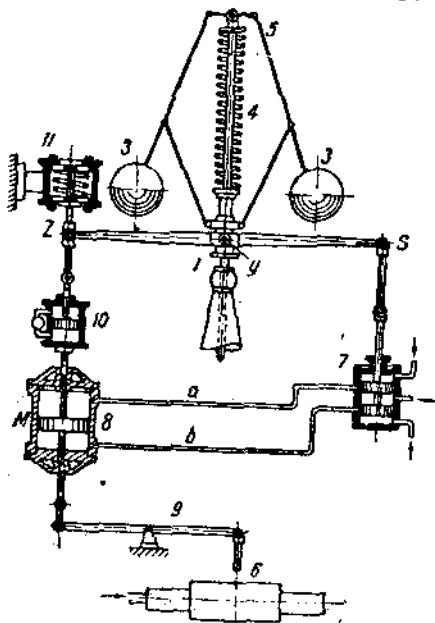
В действительности перепускная трубка масляного катаракта всегда открыта, и процессы первичного и вторичного регулирования происходят одновременно. При малейшем отклонении точки *Z* пружина *11* сейчас же начинает возвращать ее в прежнее положение с той скоростью, с которой позволяет сделать это перепускная трубка. Благодаря этому отклонение частоты от нормальной значительно уменьшается как по величине, так и по продолжительности.

Внешний вид изодромного регулятора в исполнении фирмы АЕГ изображен на фиг. 216.

б) Регулятор частоты с центробежным частотомером. Перейдем к рассмотрению регуляторов частоты, осуществляющих регулирование путем изменения характеристик скоростных регуляторов.

Регулятор частоты с центробежным частотомером фирмы Вестингауз представляет собой несколько переоборудованный самопишущий частотомер той же фирмы. Его принцип действия основан на сравнении центробежной силы, развиваемой грузами, вращаемыми синхронным моторчиком, с силой тяжести постоянного груза, уравнивающего эту центробежную силу. Благодаря этому частотомер свободен от влияний колебания напряжения, формы волны переменного тока и колебаний температуры, влияющих на точность показаний в частотомерах другого типа.

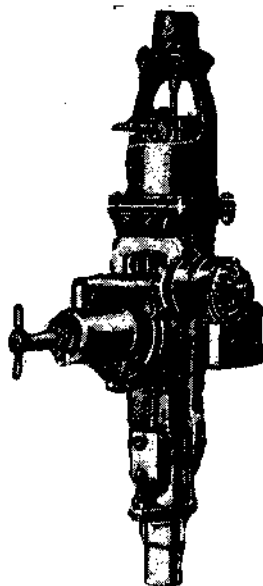
Схема регулятора частоты фирмы Вестингауз изображена на фиг. 217. Для измерения частоты служит приспособление, вращаемое трехфазным синхронным моторчиком 1. Это приспособление представляет собой прямоугольную раму 2, в которой с одной стороны на треугольной оси покоится центробежный элемент 3, а с другой стороны находится противовес, уравнивающий вес центробежного элемента. Центробежный элемент имеет с одной стороны грузы, а с другой стороны углубление, в которое входит тяга 4, находящаяся на оси вращения рамы. Центробежная сила, развиваемая грузами центро-



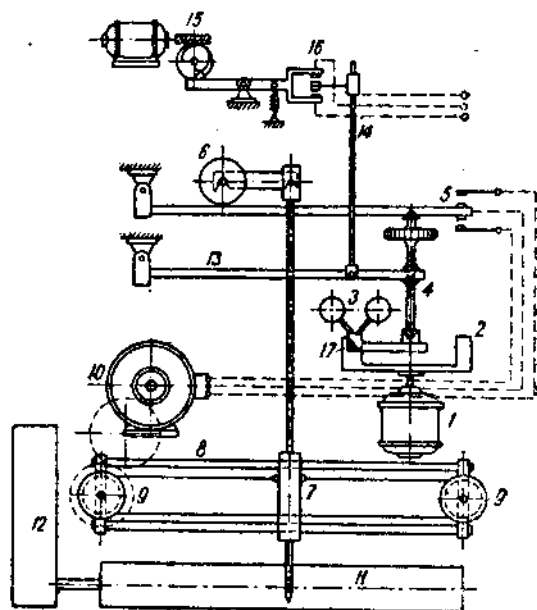
Фиг. 215. Изодромный регулятор.

1 — вал регулятора; 2 — муфта; 3 — грузы; 4 — пружина; 5 — верхний упор; 6 — парораспределение; 7 — золотник; 8 — сервомотор; 9 — рычаг парораспределения; 10 — масляный катаракт; 11 — пружина изодромного приспособления.

бежного элемента, поворачивает его вокруг треугольной оси и через тягу 4 передается вверх на рычаг регистратора 5 и на рычаг регулятора частоты 13. Эта сила уравнивается весом рычагов 5 и 13, весом связанной с рычагом 13 тяги 14 и весом подвижного груза 6. Последний передвигается при помощи каретки 7, двигающейся по направляющим 8, вдоль рычага 5 и в зависимости от своего положения создает



Фиг. 216. Внешний вид изохронного регулятора фирмы АЕГ.



Фиг. 217. Регулятор частоты с центробежным частотомером фирмы Вестингауз.

1 — синхронный моторчик; 2 — вращающаяся рама; 3 — вращающиеся грузы; 4 — тяга регистратора; 5 — рычаг регистратора; 6 — уравнивающий груз; 7 — подвижная каретка с пером; 8 — направляющие для каретки; 9 — ролики, переставляющие каретку; 10 — мотор, переставляющий каретку; 11 — вал регистрирующего прибора; 12 — часовой механизм; 13 — рычаг регулятора частоты; 14 — тяга регулятора частоты; 15 — моторчик,двигающий контакты; 16 — контакты регулятора частоты; 17 — треугольная ось центробежного элемента.

на него то или иное давление. Передвижение каретки 7 осуществляется при помощи моторчика 10, который включается от контактов, расположенных на конце рычага 5 и при своем вращении двигает каретку 7 в ту или другую сторону. Это движение происходит при помощи бесконечной ленты, прикрепленной к каретке, и роликов 9.

На тяге 14 помещается гибкий контакт, который находится между двумя жесткими контактами 16, приводимыми от моторчика 15 в колебательное движение вверх и вниз с периодичностью в 2 сек. Грузы центробежного приспособления, с одной стороны, и вес подвижного грузика и всей статической системы, с другой стороны, подобраны так, что при нормальной частоте центробежная сила центробежного элемента полностью уравновешена. Каретка 7 находится при этом в се-

редине шкалы, конец рычага 5 находится посредине между контактами моторчика, а контакты тяги 14 находятся в таком положении, что контакты 16 при своем движении их не замыкают.

При отклонении частоты от нормальной центробежная сила грузов центробежного элемента изменится и нарушит равновесие рычага 5 и рычага 13, которые будут под влиянием разности центробежной силы и веса подвижного груза и статической системы перемещаться вверх или вниз. При повышении частоты рычаги 5 и 13 под влиянием увеличившейся центробежной силы переместятся вверх. При этом замкнутся контакты, расположенные на конце рычага 5, и при своем движении вниз замкнется верхний контакт 16. При замыкании контактов рычага 5 включается моторчик 10, который перемещает каретку 7 по шкале в направлении больших значений частоты (вправо на фиг. 217). При движении каретки вместе с ней передвигается груз 6, который, перемещаясь к концу рычага, увеличивает момент, противодействующий центробежной силе грузов 3. Этот возрастающий момент в конце концов приведет центробежное приспособление в первоначальное положение равновесия, благодаря чему контакты рычага 5 разомкнутся, и моторчик 10 выключится. Так как равновесие момента центробежной силы, развиваемой грузами центробежного элемента, с моментом рычага 5 может наступить только при вполне определенном положении груза 6, то положение каретки 7 может служить для указания величины частоты, а перо, соединенное с ней, для записи частоты.

Центробежная сила, развиваемая грузами 3, пропорциональна квадрату их угловой скорости. Поэтому перемещение каретки 7 и пера пропорционально квадрату частоты, и шкала регистратора имеет квадратичный характер. Это дает определенные преимущества, так как позволяет на шкале небольшого размера уместить большой диапазон частот, сохраняя достаточно большие размеры делений для значений, близких к нормальной частоте.

Контакты 16 служат для посылки регулирующих импульсов. Так как эти контакты все время приводятся в движение вверх и вниз, то продолжительность замыкания их зависит от величины отклонения частоты. Чем больше отклонится частота от нормальной величины, тем большее перемещение получит тяга 14 и тем большее время будет замкнут соответствующий контакт 16 при движении его вверх или вниз. Таким образом моторчик скоростного регулятора двигателя будет получать импульсы, по своей продолжительности пропорциональные величине отклонения частоты от нормальной.

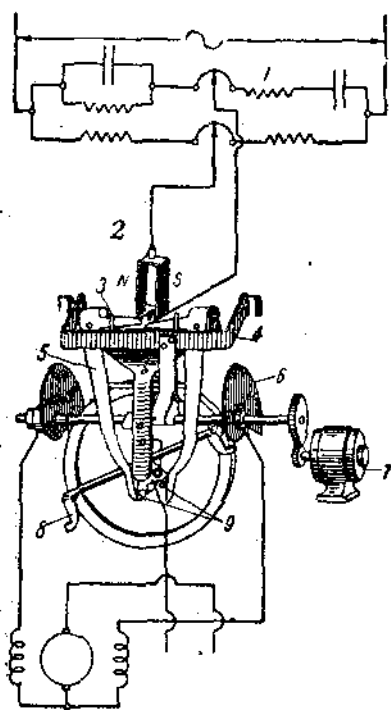
в) Регулятор частоты с электрическим частотомером. Автоматические регуляторы частоты с электрическим частотомером изготавливаются фирмой Лидс и Нортруп. В этих регуляторах частота сети измеряется мостиком переменного тока, в одном плече которого последовательно включены емкость и сопротивление, в другом плече емкость и сопротивление включены параллельно и в двух остальных плечах включено только сопротивление (фиг. 218).

При определенном соотношении между сопротивлениями и емкостями можно добиться, чтобы сдвиги фаз и падение напряжения в противоположных ветвях мостика при определенной частоте были равны

между собой. Тогда при этой частоте мостик будет уравновешен и в диагонали его не будет тока. При отклонении частоты сети от установленной величины равновесие моста будет нарушаться и в диагонали будет появляться ток.

В регуляторе Лидс и Нортруп это используется следующим образом:

В диагональ мостика (1 на фиг. 218) включен прибор 2, стрелка которого 3 перемещается между падающей дужкой 4 и рычагами 5.



Фиг. 218. Принципиальная схема регулятора частоты фирмы Лидс и Нортруп.

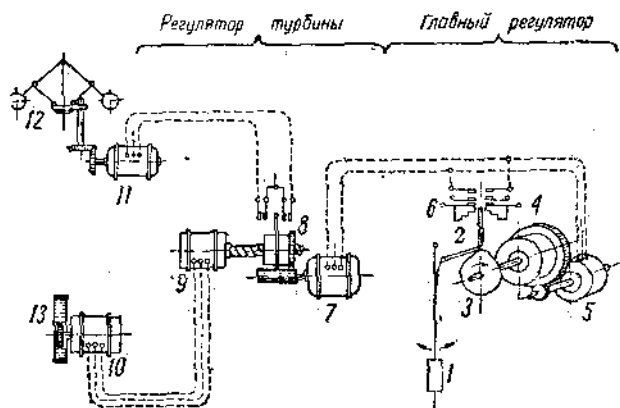
7 — мостик переменного тока; 2 — рамка гальванометра; 3 — стрелка гальванометра; 4 — падающая дужка; 5 — рычаги; 6 — контактные секторы; 7 — вспомогательный моторчик; 8 — контактная траверса; 9 — упорные штифты траверсы 8.

Падающая дужка приводится в колебательное движение при помощи эксцентрика, посаженного на ось с контактными секторами 6, которая приводится во вращение от мотора 7. При нормальной частоте стрелка прибора 2 находится между концами рычагов 5 и при движении падающей дужки вверх перемещается вместе с падающей дужкой, не задевая ни одного из этих рычагов. При отклонении частоты от нормальной величины стрелка прибора 2 отклоняется в ту или другую сторону. При движении падающей дужки вверх стрелка, как это показано на фиг. 218, упирается в конец рычага 5 и захватывает его с собой. Рычаг 5, перемещаясь вокруг своей оси, другим концом нажимает на штифт траверсы 8, укрепленный эксцентрично по отношению к ее оси. Траверса 8 поворачивается, приближая один из своих концов к контактному сектору 6. При вращении этого сектора он приходит в соприкосновение с контактной траверсой и, замыкая цепь моторчика скоростного регулятора 8, заставляет его вращаться в ту или другую сторону.

Продолжительность регулирующего импульса пропорциональна величине отклонения частоты от нормальной. Как видно из фиг. 218, угловое перемещение рычага 5 зависит от величины отклонения стрелки прибора 2.

Чем больше эта стрелка отклонится от своего нейтрального положения, тем на больший угол будет перемещен рычаг 5 при движении падающей дужки 4 вверх. Соответственно с этим большее перемещение получит контактная траверса 8, и ее конец с контактом подойдет ближе к контактному сектору 6. Благодаря этому контактный сектор при своем вращении будет в течение большего времени соприкасаться с контактной траверсой и пошлет регулирующий импульс большей продолжительности.

г) **Интегральные регуляторы.** Рассмотренные выше типы регуляторов частоты с центробежным и электрическим частотомером основаны на принципе измерения мгновенной частоты. В интегральных регуляторах регулирование частоты осуществляется по величине интеграла отклонения частоты во времени. Это позволяет значительно увеличить чувствительность регулятора, так как даже очень незначительные отклонения частоты от нормальной, суммируясь по времени, производят действие, достаточное для приведения регулятора в работу. Измерение частоты в интегральных регуляторах производится



Фиг. 219. Схема интегрального регулятора Дженераль Электрик К⁰.

1 — маятник; 2 — шарнирный рычаг; 3 — кулачок; 4 — синхронный моторчик; 5 — вспомогательный моторчик; 6 — ступенчатые колесики; 7 — регулирующий моторчик; 8 — контактная муфта; 9 и 10 — моторчики Сельсин; 11 — моторчик, переставляющий регулятор; 12 — скоростной регулятор; 13 — зубчатая передача от регулятора турбины.

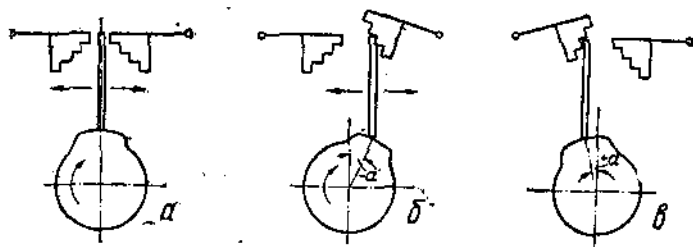
посредством синхронного моторчика. Если ось этого моторчика соединить через соответствующую передачу с часовой и минутной стрелкой, то полученные таким образом часы будут измерять так называемое «электрическое время» сети. Передачу между осями синхронного моторчика и стрелки можно подобрать таким образом, чтобы при нормальной частоте часы совершенно точно указывали астрономическое время. Тогда при повышении или понижении частоты часы будут уходить вперед или отставать. Если сравнить положение стрелок этих часов с положением стрелок точных маятниковых часов, то при нормальной частоте стрелки обоих часов будут идти вместе. При отклонении частоты от нормальной стрелка синхронных часов будет опережать или отставать от стрелки маятниковых часов. Это обстоятельство можно использовать для регулирования частоты, делая регулирующие импульсы пропорциональными расхождению стрелок синхронных и астрономических часов. Угол расхождения стрелок синхронных и астрономических часов пропорционален интегралу отклонения частоты во времени. Этой же величине будут пропор-

циональны и регулирующие импульсы, даваемые интегральным регулятором.

Ниже описывается принцип действия и конструкция интегрального регулятора фирмы Джeneralь Электрик К^о 1.

Схема регулятора изображена на фиг. 219.

Для измерения астрономического времени применен двухсекундный маятник 1. Синхронное время измеряется синхронным моторчиком 4. Сравнение астрономического и синхронного времени производится следующим образом: на маятнике имеется шарнирный рычаг 2, который при качаниях маятника перемещается параллельно самому себе. На оси синхронного моторчика имеется диск 3 с кулачком, который расположен непосредственно под шарнирным рычагом. При вращении синхронного моторчика кулачок диска 3 периодически упирается в шарнирный рычаг и приподнимает его вверх. Над шарнирным рычагом помещаются две ступенчатые колодки δ , имеющие между собой



Фиг. 220. Перемещение ступенчатых колодок при регулировании.

небольшой зазор. Над ступенчатыми колодками помещаются контакты, которые замыкаются при перемещении ступенчатых колодок вверх. Если частота нормальна, то встреча шарнирного рычага и кулачка происходит в тот момент, когда шарнирный рычаг будет находиться под зазором между ступенчатыми колодками. Поэтому при перемещении шарнирного рычага вверх его конец пройдет между ступенчатыми колодками, не задевая ни одну из них (фиг. 220, а). Если частота понижена, то кулачок за время своего полного оборота отстанет от маятника, и встреча шарнирного рычага и кулачка произойдет уже после того, как шарнирный рычаг пройдет зазор между ступенчатыми колодками. При своем движении вверх он наткнется поэтому на одну из ступеней правой колодки и, приподняв ее вверх, замкнет правый контакт (фиг. 220, б). Если частота повышена, то встреча кулачка с шарнирным рычагом произойдет раньше, чем рычаг дойдет до зазора между ступенчатыми колодками. При своем движении вверх шарнирный рычаг поэтому приподнимет левую колодку и замкнет левый контакт

¹ Первоначально регулятор интегрального типа был разработан и изготовлялся фирмой *Waren Telechron Co.*

(фиг. 220, в). Продолжительность включения контактов, замыкаемых колодками, пропорциональна величине отклонения частоты от нормальной, так как колодки 6 выполнены ступенчатыми. Чем больше будет это отклонение, тем раньше или позже произойдет встреча шарнирного рычага и кулачка, тем выше будет приподнята ступенчатая колодка и тем длительнее будут замкнуты ее контакты.

Регулирующий импульс воздействует на регулирующий моторчик 7. От оси этого моторчика при помощи зубчатой передачи приводится в движение контактная муфта 8, которая перемещается при своем вращении по винту, в свою очередь приводимому во вращение моторчиком 9 типа «Сельсин».

При получении регулирующего импульса моторчик 7 вращает муфту 8 в ту или другую сторону. Перемещаясь при своем вращении по винту вправо или влево, муфта 8 замыкает свои контакты, которые включают моторчик 11, переставляющий скоростной регулятор турбины. При перемещении регулятора он при помощи зубчатой передачи 13 и моторчика «Сельсин» 10 передает величину своего перемещения на моторчик 9. Этот моторчик при своем вращении перемещает контактную муфту 8 в обратную сторону до тех пор, пока она не встанет на прежнее место посередине между своими контактами. При помощи такого устройства независимо от скорости вращения моторчика 11 регулятор турбины получает перемещение, в точности соответствующее перемещению контактной муфты 8 и величине регулирующего импульса.

Одновременно с включением моторчика 7 при замыкании контактов ступенчатых колодок происходит включение вспомогательного моторчика 5, который при своем вращении переставляет при помощи зубчатой передачи статор синхронного моторчика 4. Это необходимо для того, чтобы скомпенсировать сдвиг между маятником и синхронным моторчиком, который получился при отклонении частоты от нормальной. Если этого не сделать, то это остающееся расхождение будет вызывать все время регулирующие импульсы, несмотря на то, что частота уже отрегулирована на нормальную величину.

Регулятор фирмы Джeneralь Электрик К^о представляет собой стеклянный цилиндр, в котором помещаются: маятник с шарнирным механизмом, синхронный моторчик с кулачковым диском, ступенчатые колодки с контактами и вспомогательный моторчик. Стеклянный цилиндр герметически закрыт, причем для достижения большей точности хода астрономических часов давление воздуха внутри него поддерживается все время постоянным. Кроме того, правильность хода часов регулярно проверяется по радиосигналам точного времени.

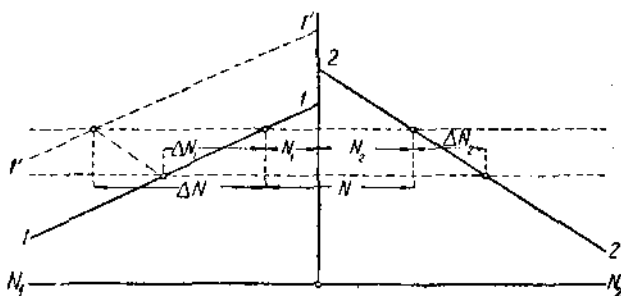
Контактная муфта 8 с моторчиком 9 размещаются для каждой из регулируемых турбин в отдельности.

52. Регулирование частоты на ведущей станции

Описанные способы возлагают функции регулирования частоты на одну станцию или группу станций, на которых это регулирование осуществляется от руки или при помощи автоматических регуляторов.

Рассмотрим, как при этом происходит регулирование частоты в энергосистеме. Пусть имеются две параллельно работающие станции с номинальной мощностью N_{n1} и N_{n2} , на одной из которых установлен автоматический регулятор частоты. Как говорилось выше, станцию с несколькими машинами можно заменить одной машиной с мощностью, равной мощности станции, и характеристикой скоростного регулятора, имеющей степень неравномерности, равную степени неравномерности эквивалентной характеристики. На фиг. 221 изображены эквивалентные характеристики станций, причем для удобства рассмотрения они нанесены в разные стороны от оси ординат.

При изменении нагрузки в первый момент, пока автоматический регулятор частоты не успел еще вступить в действие, машины станций будут вести себя так, как будто они имеют только скоростные регуляторы. Толчок нагрузки распределится между ними в соответствии с величиной их нагрузочных коэффициентов, а частота в сети понизится.



Фиг. 221. Распределение нагрузки между машинами при регулировании частоты на одной из них.

Регулятор частоты, после того как он вступит в действие, будет повышать частоту, перемещая характеристики регуляторов машин станции № 1 вверх. При повышении частоты и приближении ее к нормальной нагрузка машин станции № 2 начнет уменьшаться в соответствии с характеристикой ее 2-2', пока, наконец, при нормальной частоте она снова не достигнет прежней величины N_2 . При этом эквивалентная характеристика станции № 1 переместится в положение $1'—1'$, и весь толчок нагрузки перейдет на эту станцию.

Если регулирование частоты производить на одной машине, то все толчки нагрузки в сети будут восприниматься этой машиной. Уже при средних размерах энергосистемы одна машина не сможет справиться с падающими на нее колебаниями нагрузки, и необходимо озаботиться, чтобы функции регулирования частоты выполнялись одновременно несколькими машинами.

Распределение регулирования частоты на несколько машин можно было бы достигнуть на первый взгляд, установив на каждой из машин отдельный регулятор частоты. Однако такое разрешение задачи, полностью удовлетворяющее требованию регулирования частоты, совершенно не удовлетворяет требованию поддержания установленного

распределения нагрузки между машинами, так как при установке регуляторов частоты на каждой из параллельно работающих машин распределение толчков нагрузки между ними получается неопределенным.

Рассмотрим этот вопрос подробнее. Предположим, что имеются две параллельно работающие машины, снабженные автоматическими регуляторами частоты. Как было показано выше, распределение толчка нагрузки между параллельно работающими машинами определяется соотношением

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{N_{n1}}{N_{n2}} \frac{\delta_2}{\delta_1}.$$

В рассматриваемом случае коэффициенты неравномерности обеих машин равны нулю, так как регуляторы частоты, стремясь поддерживать частоту каждой из машин на нормальной величине, делают их характеристиками астатическими:

$$\delta_1 = 0 \text{ и } \delta_2 = 0.$$

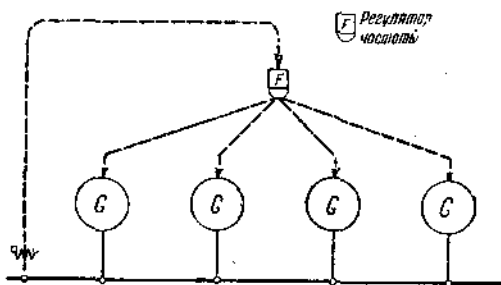
Поэтому отношение толчков нагрузки, приходящихся на каждую из машин, будет равно

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \frac{0}{0}.$$

Таким образом распределение нагрузки между машинами в этом случае не может быть фиксировано и определяется сравнительной чувствительностью регуляторов, скоростью действия сервомоторов и т. п. То же будет иметь место и при нескольких параллельно работающих машинах или нескольких параллельно работающих станциях. Поскольку такое перераспределение нагрузки при работе станций в энергосистеме недопустимо, при распределении функций регулирования частоты на несколько машин приходится применять специальные способы для поддержания между ними определенного распределения нагрузки.

Ниже приводится описание некоторых из этих способов

а) Регулирование при помощи одного регулятора частоты. Регулирование ряда параллельно работающих машин производится от одного регулятора, который при отклонении частоты от нормальной дает регулирующие импульсы на сервомоторы всех машин одновременно (см. фиг. 222). Распределение нагрузки между машинами определяется механическими и электрическими свойствами генераторов и их переставляющих моторчиков. В основном эти свойства выражаются величиной перестановочной скорости регулятора, которая представ-



Фиг. 222. Регулирование частоты на нескольких машинах при помощи одного регулятора частоты.

ляет собой процентное изменение нагрузки в единицу времени при нормальной частоте

$$v = \frac{\Delta N}{N_n} \frac{1}{\Delta t} \cdot 100.$$

При регулировании от одного регулятора частоты перестановочные скорости устанавливаются для каждой машины пропорционально той части нагрузки, которую эта машина должна нести.

Перестановочная скорость является постоянной лишь в идеальном случае, поскольку для этого необходимы прямолинейная характеристика регулятора, строго постоянное число оборотов сервомотора, переставляющего регулятор, и строгая пропорциональность между числом оборотов переставляющего мотора и перемещением характеристики регулятора. Поэтому практически перестановочная

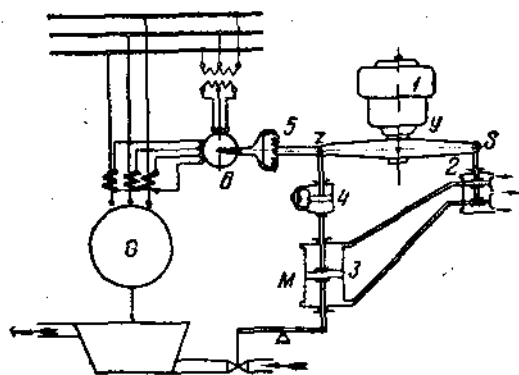
скорость не является постоянной на всей шкале регулирования, а несколько колеблется. Так как эти колебания у отдельных регуляторов могут быть различными, то рассматриваемый способ регулирования обеспечивает установленное распределение нагрузки между машинами только с определенным приближением.

Недостатком способа регулирования с одним регулятором является также то обстоятельство, что установленное распределение нагрузки не саморегулируется и случайное нарушение

этого распределения не устраняется, а может быть исправлено только от руки.

Значительная часть указанных выше недостатков устраняется применением схемы фирмы Джeneralль Электрик К^о интегрального регулирования, которая была рассмотрена выше (фиг. 219). Здесь распределение нагрузки между машинами зависит только от скоростей моторчиков 7, все же остальные влияния исключаются благодаря применению метода компенсации регулирующих импульсов.

б) Регулирование при помощи регуляторов, имеющих статическую характеристику. Как было установлено выше, распределение толчка нагрузки между машинами при установке на каждой из них регулятора частоты получается неопределенным. При наличии n машин в этом случае получается неопределенная система $n - 1$ дополнительных условий, внеся, например, в каждое из уравнений регулирования зависимость от нагрузки (фиг. 223). Уравнения регу-



Фиг. 223. Регулятор частоты со статической характеристикой.

1 — центробежный регулятор; 2 — золотник; 3 — сервомотор; 4 — масляный каттаракт; 5 — пружина изохромного приспособления; 6 — ваттметровый элемент.

лирования при этом получают статический характер, благодаря чему распределение нагрузки между машинами будет определенным. Путем изменения степени неравномерности характеристик распределение нагрузки между машинами может быть установлено при этом любым образом. Недостатком этого способа регулирования является то обстоятельство, что благодаря статичности регуляторов частота в процессе регулирования будет получать остающиеся отклонения, вследствие чего этот способ регулирования может являться только приближенным. Нужно указать, что при применении регуляторов частоты со статической характеристикой, или, как их называют, «регуляторов с электрической статикой», отклонение частоты можно свести к весьма незначительной величине. Благодаря применению электрического принципа действия, степень неравномерности регулятора может быть сделана весьма малой и, например, фирма АЕГ дает для своих регуляторов с «электрической статикой» степень неравномерности $\delta = 0,01\%$.

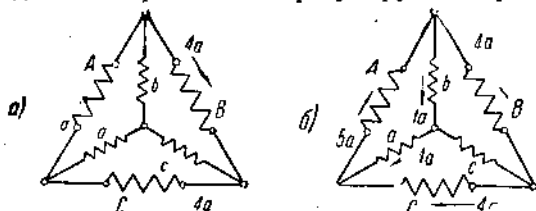
Конструктивная схема регулятора частоты со статической характеристикой в одном из возможных выполнений представлена на фиг. 223. Этот регулятор представляет собой обычный изодромный регулятор, точка обратной перестановки которого получает некоторое перемещение от дополнительно электрического устройства. Последнее содержит в себе ваттметровый элемент, измеряющий нагрузку машины и перемещающий точку обратной перестановки в зависимости от величины этой нагрузки. Благодаря этому каждой величине нагрузки машины соответствует другое положение точки Z и соответственно с этим другое число оборотов двигателя. Статическая характеристика, даваемая таким регулятором, может быть сделана любой формы и иметь весьма малую степень неравномерности.

в) Регулирование с ложной статикой. Любое распределение нагрузки между параллельно работающими машинами можно представить себе в виде желаемого идеального распределения, соответствующего наибольшей экономичности машин и наложенного на это идеальное распределение потока искажающей мощности. В то время как идеальную мощность можно представить себе как протекающую прямым путем от машины к потребителю, искажающую мощность можно представить в виде кругового потока энергии, который протекает от излишне загруженной машины к шинам и обратно через мало загруженную машину. Сумма идеальной нагрузки и потока искажающей мощности будет давать для каждой машины ее действительную нагрузку.

Путем соответствующего соединения трансформаторов тока можно выделить величину искажающей мощности и использовать ее как корректирующее условие для регулирования. Это приводит к тому, что характеристика регуляторов частоты получает корректирование не за счет действительной нагрузки генераторов, а за счет несуществующей в действительности искажающей мощности, которая при установившемся состоянии исчезает. Выделение искажающей мощности можно получить, например, путем применения уравнивающих схем, которые под названием «полигонного включения» в течение

уже долгого времени применяются в защитных схемах и схемах регулирования напряжения.

Пример такого включения приведен на фиг. 224. Трансформаторы тока параллельно работающих машин соединены здесь последовательно друг с другом в многоугольник. Угловые точки многоугольника соединены через обмотки регулирующих реле в звезду.



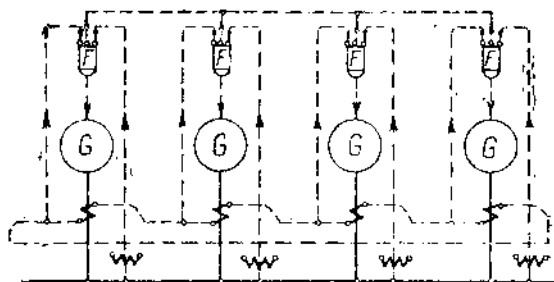
Фиг. 224. Полигонное включение трансформаторов тока.

многоугольника сможет замкнуться только через обмотки регулирующих реле в лучах звезды, прилегающих к этой стороне многоугольника (фиг. 224, б). Регулирующие реле при этом придут в действие и будут выравнять нагрузку машин, понижая ее в машине, получившей приращение нагрузки, и увеличивая ее в других машинах. Это регулирующее воздействие будет продолжаться до тех пор, пока сила тока в сторонах многоугольника опять не станет одинаковой. Изменяя коэффициенты трансформации трансформаторов тока, можно получить любое распределение нагрузки между машинами.

Общая схема регулирования с полигонным включением приведена на фиг. 225.

Применение регулирования с полигонным включением дает совершенно точное поддержание частоты и заданного распределения нагрузки. Недостатком этого способа регулирования является сложность соединений и необходимость применения специальных трансформаторов тока с изменением коэффициента трансформации.

г) Регулирование с вспомогательной величиной. В этом способе регулятор частоты не воздействует непосредственно на переставляющие моторчики регуляторов машин, а при помощи специального приспособления устанавливает величину тока или напряжения в вспомогательной цепи. Нагрузка машин регулируется при этом отдельно на каждой машине при помощи специальных регуляторов нагрузки, представляющих собой дифференциальные приборы, которые сравни-

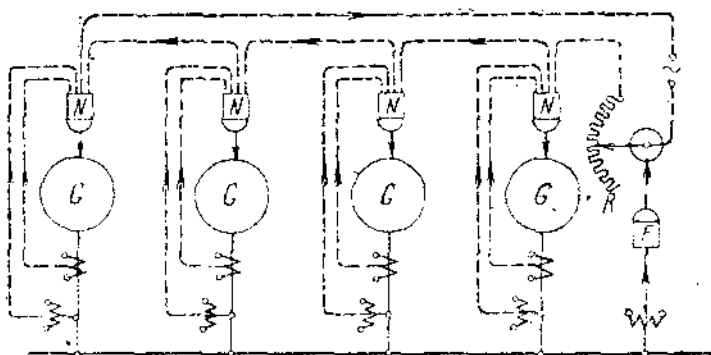


Фиг. 225. Регулирование частоты при помощи регуляторов с полигонным включением.

вают величину тока или напряжения в вспомогательной цепи с нагрузкой машины и изменяют нагрузку машины таким образом, чтобы между ней и этими величинами было вполне определенное соотношение. Зависимости между нагрузкой каждой из машин и вспомогательной величиной представляют собой те дополнительные условия, которые необходимы, чтобы сделать процесс регулирования определенным. Благодаря этому такой способ позволяет вполне точно поддерживать любое распределение нагрузки между машинами и одновременно регулировать частоту.

F регулятор частоты

N дифференц. реле



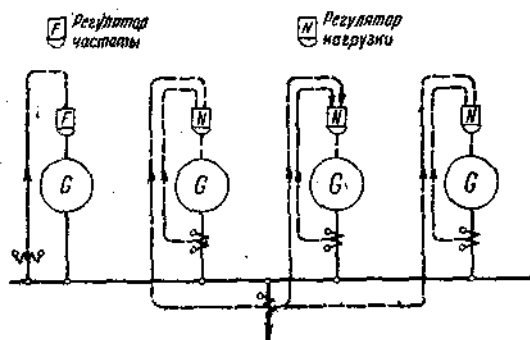
Фиг. 226. Регулирование частоты способом вспомогательной величины.

Принципиальная схема регулирования частоты с вспомогательной величиной изображена на фиг. 226. Регулятор частоты воздействует здесь на моторчик, переставляющий рукоятку реостата и изменяющий, таким образом, силу тока в вспомогательной цепи. Ток вспомогательной цепи проходит последовательно через обмотки всех регуляторов нагрузки отдельных машин. В этих регуляторах момент, создаваемый от обмотки, обтекаемой вспомогательным током, сравнивается с моментом другой обмотки, которая измеряет нагрузку машины. При равенстве моментов контакты регулятора находятся в равновесии. При превышении того или иного момента регулятор замыкает свои контакты и, воздействуя на переставляющий моторчик машины, повышает или понижает нагрузку машины до тех пор, пока моменты опять не придут в равновесие. Изменяя соотношение между величинами токов в обмотках регуляторов, при которых контакты регулятора будут находиться в равновесии, можно получить любое соотношение между величиной вспомогательного тока и величиной нагрузки машины и устанавливать, таким образом, любое распределение нагрузки между машинами.

В качестве вспомогательной величины, определяющей распределение нагрузок, может быть также использована величина нагрузки

регулируемой машины или же величина суммарной нагрузки станции (фиг. 227).

Описанные выше способы применяются в основном также и в случае распределения функций регулирования частоты между несколькими станциями в энергосистеме. В этом случае задача осложняется только тем, что отдельные станции могут быть расположены на значительном



Фиг. 227. Регулирование частоты с ведущей машиной.

расстоянии друг от друга и для связи их друг с другом необходимо применение средств телемеханики. В табл. 4 указано количество каналов связи, которое необходимо иметь между каждой из станций, участвующих в регулировании частоты, и станцией, на которой установлен автоматический регулятор частоты.

Способ регулирования с ложной статикой при распределении функций регу-

лирования между несколькими станциями неприменим, так как соединение трансформаторов тока отдельных машин друг с другом в этом случае неосуществимо.

ТАБЛИЦА 4

Число каналов связи, необходимых для одновременного регулирования частоты на нескольких станциях

№ по пор.	Метод	Число каналов связи	
		Для измерения	Для управления
1	Регулирование при помощи одного регулятора частоты (общий импульс) . . .	—	1
2	Статические регуляторы	—	—
3	Регулирование при помощи вспомогательного тока	1	—

Регулирование частоты на ведущей станции, обеспечивая точное поддержание частоты в энергосистеме, не обеспечивает поддержания нагрузки соединительных линий. Так как станция, регулирующая частоту, полностью воспринимает на себя все толчки нагрузки не только в той сети, где эта станция находится, но и во всех остальных сетях, то каждый толчок нагрузки сопровождается изменением нагрузки соединительных линий. Это изменение по своей величине равно суммарному толчку нагрузки во всех сетях, входящих в энергосистему.

Метод регулирования частоты на одной станции обладает недостатками с точки зрения надежности и устойчивости работы сети, даже и тогда, когда машины остальных станций имеют примерно одинаковые характеристики. При коротком замыкании число оборотов машин регулируемой станции будет поддерживаться на постоянной величине, в то время как у машин всех остальных станций оно увеличится до значения, соответствующего точке холостого хода на скоростной характеристике. Регулятор частоты будет здесь, таким образом, мешать устойчивой работе машин. Принятие всех толчков нагрузки на одну машину или группу машин является с точки зрения устойчивости также менее благоприятным, чем распределение этих толчков по всем машинам.

Способ регулирования частоты на ведущей станции получил, однако, большое распространение, так как он не требует переделки регуляторов турбин, особенно, если примириться с некоторым понижением устойчивости при коротких замыканиях. Кроме того, в небольших энергосистемах, где распределение функций регулирования частоты между несколькими станциями ненужно, этот способ не требует применения средств телемеханики.

Если рассматривать способ регулирования частоты на одной или нескольких станциях с точки зрения требований, сформулированных в первом разделе, то можно сказать следующее:

а) Поддержание частоты в пределах $0,1—0,2\%$ возможно при условии достаточной мощности станции или группы станций, регулирующих частоту, и при условии обеспечения ими соответствующей скорости изменения своей нагрузки.

б) Поддержание в определенных пределах нагрузки соединительных линий не обеспечивается. Изменение нагрузки этих линий может достигать величины суммарного толчка нагрузки в энергосистеме.

в) Для распределения функций регулирования частоты между отдельными станциями необходимо применение средств телемеханики.

г) Передача функций регулирования частоты с одной станции на другую возможна, но требует установки на этих станциях отдельных регуляторов частоты, нормально бездействующих.

д) Нагрузка станций, не участвующих в регулировании частоты, поддерживается на заданной величине, получая некоторые отклонения только на моменты регулирования частоты.

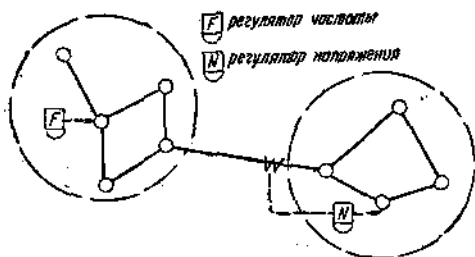
е) Во время аварий работа регуляторов происходит неправильно

53. Одновременное регулирование частоты и нагрузки соединительных линий

Основным недостатком рассмотренного выше способа регулирования частоты ведущей станцией является то, что он дает большие колебания нагрузки соединительных линий. В случае если эти колебания вследствие эксплуатационных условий, или малой пропускной способности линии должны быть ограничены, то дополнительно к регулированию частоты придется прибегать к регулированию нагрузки соединительных линий.

Регулирование частоты возлагается при этом на одну из сетей или станций, в то время как другие сети или станции регулируют свою нагрузку в зависимости от нагрузки соединительных линий (фиг. 228). При таком способе регулирования толчок нагрузки, возникший в сети, не имеющей регулятора частоты, покрывается сперва сетью, регулирующей частоту. Изменение нагрузки этой сети вызовет изменение нагрузки соединительной линии. Благодаря этому придет в действие регулятор нагрузки, установленный на этой линии и начнет изменять нагрузку той сети, в которой произошел толчок, до тех пор пока нагрузка соединительной линии снова не установится на прежней величине. Толчок нагрузки, возникший в сети, будет при этом полностью покрыт ее собственными машинами.

В случае наличия нескольких сетей в энергосистеме толчки нагрузки в каждой из этих сетей при описанном способе регулирования будут покрываться ее собственными машинами, и нагрузка соединительных линий будет поддерживаться на предписанной величине.



Фиг. 228. Регулирование частоты и нагрузки соединительной линии в случае двух соединенных сетей;

фиг. 229. Эта энергосистема представляет собой соединение шести сетей с общим числом около 30 силовых станций. Функции регулирования частоты возложены на сеть А. Остальные сети регулируют нагрузку своих станций по нагрузке соединительных линий.

При совместном регулировании частоты и нагрузки соединительных линий большое значение имеет выбор перестановочных скоростей регулятора частоты и нагрузки. Рассмотрим этот вопрос подробнее, заменив для упрощения параллельно работающие сети двумя параллельно работающими машинами № 1 мощностью в 90 MW и № 2 в 10 MW. Предположим, что для регулирования частоты выделена машина в 10 MW, машина же в 90 MW имеет регулятор нагрузки, стремящийся поддерживать ее нагрузку на постоянной величине.

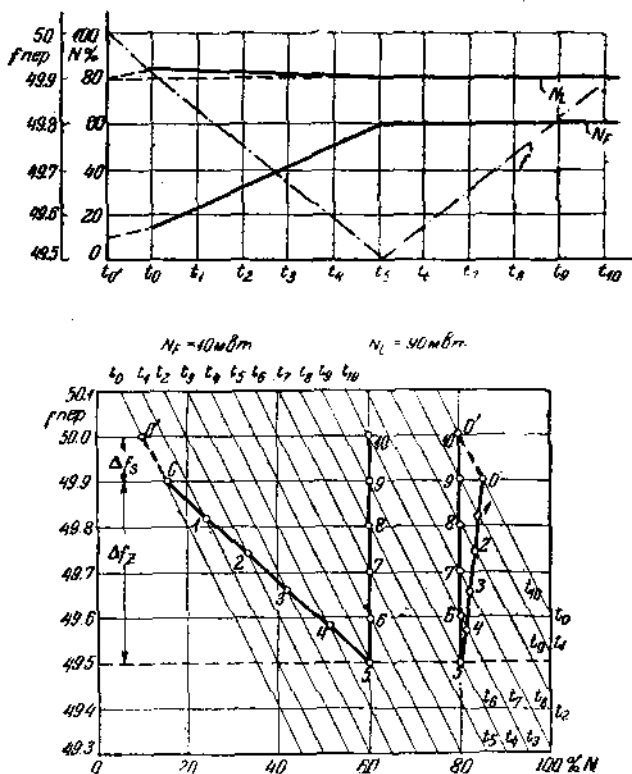
Перестановочные скорости регуляторов машины, регулирующей частоту, и машины, регулирующей нагрузку, выберем одинаковыми, т. е.

$$v_F = v_L,$$

где v_F — перестановочная скорость регулятора частоты и v_L — перестановочная скорость регулятора нагрузки.

перестановочной скорости, будут смещаться на одну и ту же величину. Пусть регулятор частоты стремится поддерживать частоту $f = 50$ Hz, а регулятор нагрузки поддерживает нагрузку машины № 1 постоянно на величине в 72 MW.

Предположим, что в первый момент регулятор частоты и регулятор нагрузки остаются в бездействии. Тогда процесс в обеих машинах



Фиг. 230. Регулирование частоты при одинаковых перестанавливающих скоростях.

перейдет по характеристикам t_0 из точки O' в точку O (фиг. 230). Так как приращение нагрузки равно 5% от номинальной мощности машин, то понижение частоты составит

$$\frac{50 \cdot 4 \cdot 0,05}{100} = 0,1 \text{ Hz.}$$

В точке O регуляторы частоты и нагрузки вступают в действие. Первый из них будет повышать нагрузку ведущей машины, стараясь поднять частоту в сети до нормальной величины. Второй будет понижать нагрузку машины № 1, так как при переходе процесса из точки O' в точку O эта машина получила приращение нагрузки.

Пусть перестановочная скорость будет такова, что в выбранные нами промежутки времени, для которых на фиг. 230 нанесены характеристики, регулятор мощности успевает изменить нагрузку машины № 1 на 1%, т. е. на 900 MW. Эта нагрузка должна быть воспринята машиной, регулирующей частоту, для которой прирост нагрузки за каждый промежуток времени будет составлять 9% от номинальной мощности. Однако регулятор частоты этой машины, имеющий, как было условлено выше, ту же перестановочную скорость, что и регулятор нагрузки, сможет увеличивать нагрузку машины только на 1% ее номинальной мощности. Благодаря этому процесс передачи нагрузки на машину, регулирующую частоту, будет сопровождаться, несмотря на действие регулятора частоты, дальнейшим снижением частоты. Процесс будет при этом переходить из точки O в точку 1, из точки 1 в точку 2 и т. д., перемещаясь с характеристики t_0 на характеристику t_1, t_2, t_3 и т. д. Наконец, в момент времени t_5 , когда процесс переместится в точку 5, нагрузка машины № 1 станет снова равной 72 MW, и регулятор мощности прекратит свое действие. Машина, регулирующая частоту, при этом полностью воспримет на себя приращение нагрузки. Как можно видеть из фиг. 230, частота при этом понизится до 49,5 Hz. В дальнейшем частота под действием регулятора частоты постепенно будет повышаться до нормальной величины при постоянной нагрузке обеих машин. На фиг. 230 это изображено перемещением процесса по линиям, параллельным оси ординат.

Процесс регулирования не получит существенных изменений, если регуляторы частоты и нагрузки вступят в действие в точке O' , а не в точке O , как было предположено выше. В этом случае отклонение частоты немного уменьшится.

Таким образом в разобранным случае в результате неправильного выбора перестановочных скоростей регуляторов машины, регулирующей частоту, и машины, регулирующей нагрузку, вместо максимально возможного отклонения частоты в 0,1 Hz, обусловленного статическими характеристиками регуляторов, получилось отклонение частоты в 0,5 Hz.

Избежать этого добавочного отклонения частоты можно, очевидно, путем увеличения перестановочной скорости регулятора машины, регулирующей частоту. Если эту перестановочную скорость увеличить в отношении

$$v_F = \frac{N_L}{N_F} v_L,$$

где N_F — номинальная мощность машины, регулирующей частоту, и N_L — номинальная мощность машины с регулятором нагрузки, то, как это можно видеть из фиг. 231, б, добавочного отклонения частоты не будет.

Таким образом для того чтобы избежать добавочного отклонения частоты во время регулирования, нужно выбрать такие перестановочные скорости, чтобы в любой момент имело место соотношение

$$N_F v_F \geq N_L v_L,$$

т. е. произведение номинальной мощности и перестановочной скорости машины, регулирующей частоту, должно быть в любой момент времени равно или больше произведения номинальной мощности и перестановочной скорости машины, регулирующей нагрузку.

В случае наличия нескольких машин, регулирующих частоту и нагрузку, должно иметь место соотношение

$$\sum (N_F v_F) \geq \sum (N_L v_L).$$

Практически выполнение этого соотношения можно обеспечить следующими тремя путями:

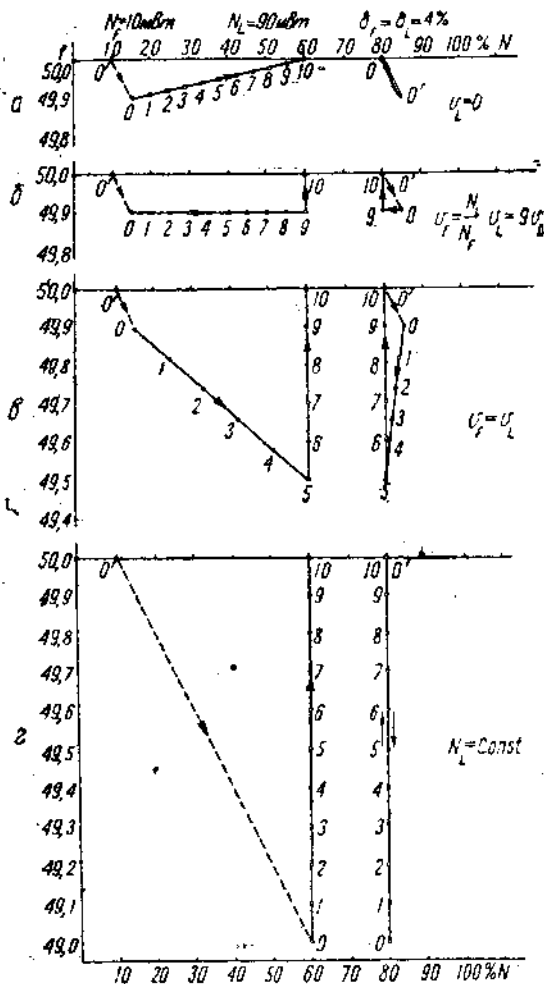
1. Повышением мощности машины, регулирующей частоту, или же распределением функций регулирования частоты на несколько машин. [Так] как это одновременно связано с уменьшением мощности машин, регулирующих нагрузку, то это мероприятие сказывается удвоенным образом.

2. Увеличением перестановочной скорости регуляторов частоты.

3. Уменьшением перестановочной скорости регуляторов нагрузки. В пределе эта скорость может быть уменьшена до нуля, т. е. регулятор нагрузки фактически может быть отключен.

В последнем случае, т. е. при полном выключении регулятора нагрузки, мы будем иметь уже рассмотренный в предыдущем параграфе случай регулирования частоты на одной машине при установке на других машинах только скоростных регуляторов. Протекание процесса регулирования для этого случая изображено на фиг. 231, а.

Так как машины, покрывающие основную нагрузку, имеют только скоростные регуляторы, то нагрузка их в процессе регулирования будет определяться величиной отклонения частоты от нормальной.



Фиг. 231. Влияние величины перестановочной скорости на процесс регулирования.

В первый момент, до вступления регулятора частоты в действие, толчок нагрузки распределится между машиной, регулирующей частоту, и остальными машинами пропорционально их нагрузочным коэффициентам. В последующие моменты, после вступления регулятора частоты в действие, машина, регулирующая частоту, будет принимать нагрузку на себя, а частота будет постепенно повышаться.

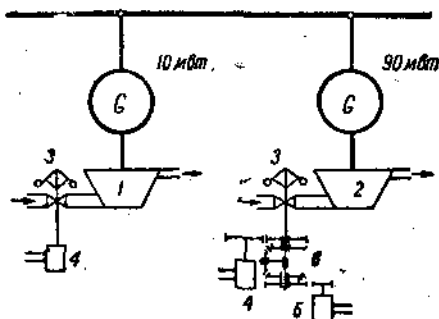
Для сравнения рассмотрим еще один случай регулирования частоты и нагрузки, предположив, что машины, покрывающие основную нагрузку, не имеют регуляторов и нагрузка их вне зависимости от колебаний частоты поддерживается все время на постоянной величине (фиг. 231,а). В этом случае толчок нагрузки в первый же момент ложится целиком на машину, регулирующую частоту, и отклонение частоты от нормальной величины получается зависимым исключительно только от нагрузочного коэффициента этой машины и от величины толчка. Как можно видеть из фиг. 231, это отклонение получается наибольшим из всех рассмотренных выше случаев.

Произведенное выше рассмотрение показывает, что требования иметь в течение процесса регулирования наименьшее отклонение частоты как по величине, так и по времени, и в то же время иметь наименьшее отклонение нагрузки являются по существу противоречащими друг другу. Как можно видеть из фиг. 231, наименьшее отклонение частоты от нормальной имеет место при отсутствии регуляторов нагрузки. Но этот случай соответствует наибольшему времени отклонения нагрузки машин, покрывающих основную нагрузку, от установленной величины. При наличии регуляторов нагрузки отклонение частоты от нормальной увеличивается в тем большей степени, чем больше перестановочная скорость регуляторов нагрузки по сравнению с перестановочной скоростью регулятора частоты.

Наконец, при полном удовлетворении требования регулирования нагрузки, т. е. при поддержании нагрузки машин, ведущих основную нагрузку на постоянной величине, получается наибольшее отклонение частоты.

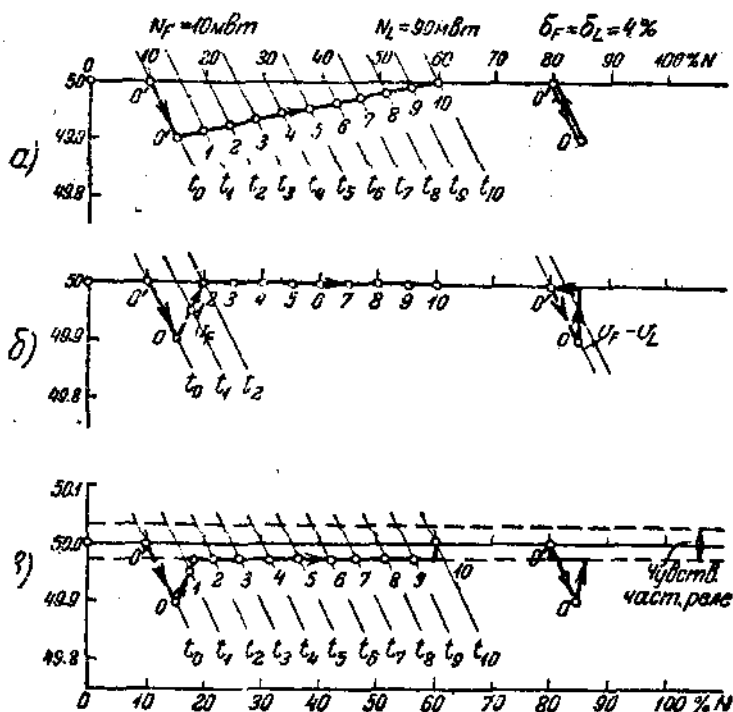
Отклонение частоты получается непродолжительным, если производить выравнивание нагрузки машин при нормальной частоте, заставляя их в первый момент участвовать в регулировании частоты. Это можно сделать, выполнив регуляторы этих машин комбинированными и действующими как в зависимости от частоты, так в зависимости и от нагрузки.

Один из способов такого регулирования изображен на фиг. 232. Машина, регулирующая нагрузку, регулируется в этом способе от



Фиг. 232. Совместное регулирование частоты и нагрузки при помощи регулятора с дифференциалом.

регулятора частоты и регулятора нагрузки, действующих через дифференциал. При одновременном отклонении и частоты и нагрузки перестановочная скорость регулирования равна разности перестановочных скоростей обоих регуляторов. Перестановочная скорость регулятора частоты машины, регулирующей нагрузку, выбирается равной перестановочной скорости регулятора частоты машины, регулирующей частоту. Если выбрать перестановочную скорость регулятора



Фиг. 233. Совместное регулирование частоты и нагрузки.

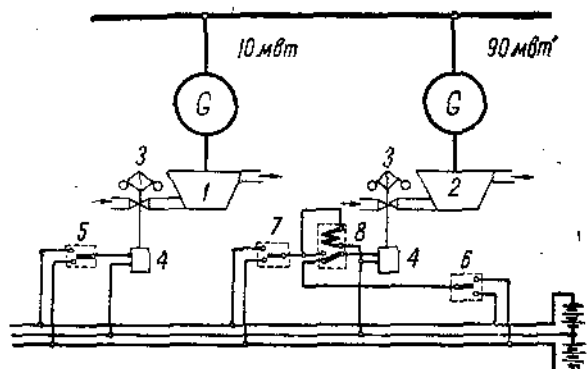
нагрузки равной перестановочной скорости регулятора частоты $v_L = v_F$, то при отклонении обеих величин скорость перестановки машины, регулирующей нагрузку, будет равна нулю, как будто эта машина не имеет никакого вторичного регулятора. Процесс регулирования будет протекать в этом случае так, как указано на фиг. 233, а¹.

Если перестановочную скорость регулятора нагрузки сделать меньше перестановочной скорости регулятора частоты, то при отклонении и частоты и нагрузки комбинированный регулятор будет повышать нагрузку машины, действуя с перестановочной скоростью $v = v_F - v_L$ и помогая, таким образом, машине, регулирующей частоту (фиг. 233, б). При достижении частотой нормальной величины действие регулятора частоты прекратится, и оставшийся в действии

¹ Диаграмма фиг. 233, а аналогична диаграмме фиг. 231, а и приведена на фиг. 233 только для удобства сравнения ее с другими диаграммами этой фигуры.

регулятор нагрузки отрегулирует нагрузку машины на установленную величину. Основная часть регулирования нагрузки, как это можно видеть из фиг. 233,б, будет происходить при нормальной частоте, благодаря чему время отклонения частоты от нормальной значительно уменьшится.

Другой способ совместного регулирования частоты и нагрузки состоит в том, что регулятор нагрузки при отклонении частоты сверх определенного установленного предела выключается из работы при помощи специального частотного реле, которое одновременно переводит машину на регулирование по частоте. Схема такого регулирования изображена на фиг. 234. Как можно видеть из этой фигуры, моторчик, переставляющий скоростной регулятор машины 2, включен к контактам регулятора нагрузки через нижнее положение вспомогательного реле 8, которое включается через контакты частотного реле 7. Воздействие регулятора нагрузки на скоростной регулятор машины может происходить только тогда, когда частота поддерживается в пределах чувствительности частотного реле. Если частота отклоняется от нормальной на величину, большую чем установка частотного реле 7, то последнее придет в действие и, замкнув свой нижний или верхний контакт, включит вспомогательное реле 8. Это реле, переключив свои контакты, выключит регулятор нагрузки и включит переставляющий моторчик скоростного регулятора на частотное реле, которое будет переставлять его в зависимости от направления отклонения частоты в ту или другую сторону, помогая, таким образом, машине, регулирующей частоту.



Фиг. 234. Совместное регулирование частоты и нагрузки при помощи регулятора с частотным реле.

1 — машина, регулирующая частоту; 2 — машина, регулирующая нагрузку; 3 — скоростной регулятор; 4 — моторчик, переставляющий скоростной регулятор; 5 — регулятор частоты; 6 — регулятор нагрузки; 7 — частотное реле; 8 — вспомогательное реле.

Протекание процесса регулирования для этого случая изображено на фиг. 223,в. Как можно видеть из этой фигуры, после первоначального отклонения частоты под влиянием регуляторов обеих машин быстро восстанавливается до величины, соответствующей установке частотного реле. При этом значении частоты включается регулятор нагрузки, который постепенно передает на машину, регулирующую частоту, нагрузку, принятую на себя в первый момент после толчка машиной, регулирующей нагрузку.

После того как машина, регулирующая частоту, примет на себя всю нагрузку толчка полностью, регулятор нагрузки прекращает

свое действие, и частота под действием регулятора частоты приходит к нормальной величине.

Таким образом в этом случае регулирование нагрузки происходит при частоте, отличающейся от нормальной. Величина отклонения определяется чувствительностью частотного реле и может быть заранее установлена и выбрана такой, чтобы отклонение частоты было допустимо по условиям работы потребителей.

В аварийных условиях регуляторы частоты и нагрузки действуют неправильно. При коротких замыканиях в сети станция, имеющая регулятор частоты, будет снижать свою нагрузку, стремясь поддерживать нормальную частоту. В других же сетях станции под действием регуляторов мощности будут стремиться повысить свою нагрузку. При отключении станции, регулирующей частоту, или повреждении на ней автоматического регулятора частоты сеть, регулирующая частоту, будет предоставлена самой себе, поскольку регуляторы нагрузки не будут позволять другим сетям помогать ей. При разделении сетей регуляторы частоты будут поддерживать частоту своей сети на нормальной величине, регуляторы же нагрузки в своих сетях изменят ее. При этом в тех сетях, которые получали нагрузку и в которых частота при разделении сетей понизится, регуляторы нагрузки будут еще сильнее понижать ее, в тех же сетях, которые отдавали нагрузку и в которых при разделении сетей частота повысится, они будут повышать ее еще больше.

Поэтому во всех случаях разделения сетей или в случае выключения станции, регулирующей частоту, регуляторы нагрузки необходимо выключать из работы.

Это делается или от руки или при помощи частотных реле, прекращающих действие регуляторов нагрузки при повышении или понижении частоты сверх определенного предела, как это было описано выше.

Одновременное совместное регулирование частоты и нагрузки соединительных линий возможно не во всех случаях. Принципиально этот способ регулирования можно применять только в тех случаях, когда при n сетях число соединительных пунктов между сетями не больше, чем $n-1$, так как только при этом решение задачи распределения нагрузки между сетями получается определенным. Некоторые затруднения имеют место поэтому уже и в наиболее простом случае параллельной работы двух сетей, когда между ними имеются не один, а два соединительных пункта. Если в этом случае регулировать нагрузку в одном из соединительных пунктов, то одновременно с изменением нагрузки этого пункта будет происходить изменение нагрузки и другого соединительного пункта. Соотношение нагрузок обоих пунктов будет определяться при этом проводимостью сети между местами расположения силовых станций и обоими соединительными пунктами. Так как при изменении схемы работы сети и при переключениях в ней эта величина изменяется, то регулирование перехода в одном из соединительных пунктов не будет давать определенной величины суммарного обмена мощности между обеими сетями, и этот обмен будет зависеть помимо действия регуляторов также от схемы соединения сетей.

Для точного установления величины обмена регулирование необходимо производить в этом случае по суммарной нагрузке обоих соединительных пунктов, сводя условия, имеющиеся в этом случае, в отношении действия регулятора нагрузки к одному пункту обмена.

Еще более затруднительным является осуществление регулирования в тех случаях, когда соединительные линии между отдельными сетями замкнуты в кольцо, как это, например, имеет место на фиг. 229. В этом случае для осуществления регулирования нагрузки соединительных линий приходится или размыкать часть из них, не используя, таким образом, полностью их пропускной способности, или же сводить число мест регулирования к величине $n - 1$ путем суммирования нагрузки отдельных соединительных пунктов. В последнем случае регулирующие установки получаются достаточно сложными и требуют большого количества телемеханических линий связи.

В качестве выхода на кольцевой линии можно поставить трансформатор поперечного поля, автоматически поддерживающий на ней заданный переход мощности с помощью регулятора мощности независимо от загрузки станций. При аварийных колебаниях частоты такой регулятор должен отключаться из работы.

Если оценивать способ совместного регулирования частоты и нагрузки с точки зрения поставленных выше требований, то можно сказать следующее:

а) Поддержание частоты в пределах $0,1-0,2\%$ возможно при условии правильного выбора перестановочных скоростей регуляторов частоты и нагрузки.

б) Поддержание в определенных пределах нагрузки соединительных линий обеспечивается регуляторами нагрузки. Если станция, регулирующая нагрузку, расположена на расстоянии от места присоединения соединительной линии, то необходимо применение средств телемеханики.

в) Для распределения функций регулирования частоты и нагрузки между несколькими станциями необходимо применение телемеханики.

г) Передача функций регулирования частоты и нагрузки с одной станции на другую возможна, но требует установки на этих станциях регуляторов частоты или нагрузки, нормально бездействующих.

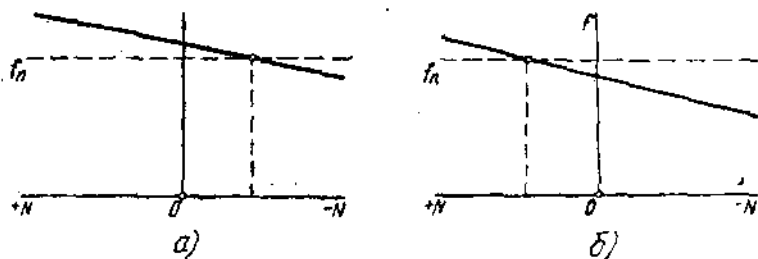
д) Нагрузка станций, не участвующих в регулировании, поддерживается на установленной величине, получая небольшие отклонения только на моменты регулирования частоты.

е) В моменты аварий работа регуляторов происходит неправильно. Для правильной работы необходимо применение комбинированных регуляторов.

54. Регулирование по сетевым характеристикам

При рассмотрении условий регулирования частоты и нагрузки в энергосистемах при наличии на машинах станций только скоростных регуляторов было показано, что покрытие толчка нагрузки, возникшего в одной из сетей, происходит с помощью всех остальных сетей. В основном этот процесс происходит так же, как и при покрытии толчка

нагрузки при выделении в сети станции, регулирующей частоту, с той только разницей, что роль этой станции исполняют в данном случае соседние сети. При этом величина мощности, передаваемой из соседних сетей, воспроизводит в определенном масштабе процесс изменения мощности, происходящей в самой сети. По величине перехода мощности на соединительной линии, совершенно так же как по нагрузке станции, регулирующей частоту, можно поэтому судить о том, как нужно нагружать остальные машины или станции сети. Это и производится в рассмотренном выше способе совместного регулирования частоты и нагрузки соединительных линий, где функции регулирования частоты и нагрузки выполняются раздельно различными сетями. Инж. Гранер¹ предложил совместить эти функции и производить регулирования нагрузки каждой сети как в зависимости от частоты,



Фиг. 235. Сетевая характеристика.

а — сеть отдает мощность; б — сеть получает мощность.

так и в зависимости от нагрузки соединительных линий. Такое совместное регулирование означает не что иное, как осуществление некоторой зависимости между нагрузкой соединительных линий и частотой, аналогичной статической характеристике скоростного регулятора. Так как сеть может получать или отдавать мощность, то статические характеристики ее должны простираются по обе стороны от оси ординат, как изображено на фиг. 235. При понижении частоты в случае отдачи сетью мощности по соединительной линии эта мощность повышается, а в случае получения мощности понижается. При повышении частоты, наоборот, отдаваемая мощность уменьшается, а полученная мощность увеличивается.

Само регулирование осуществляется путем выделения в каждой сети ведущей станции или группы станций, на которые возлагается регулирование обмена мощности в зависимости от частоты по характеристике, изображенной на фиг. 235.

Если регулировать все сети в системе согласно такой характеристике, то, как видно из фиг. 236, где изображены характеристики трех сетей, частота будет устанавливаться так, чтобы сумма отдаваемых мощностей была равна сумме получаемых мощностей.

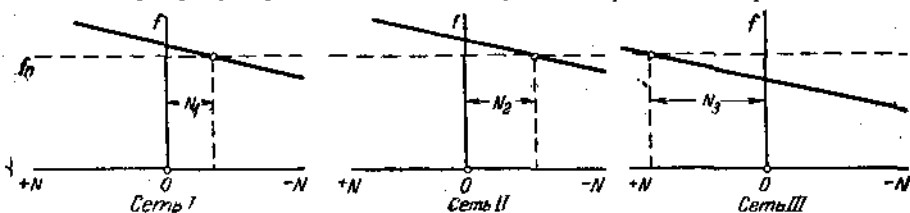
Если при определенном обмене мощностью частота имеет величину, меньшую, чем по характеристикам, то суммарная величина получае-

¹ См. Н. Graner, Vorschläge für der Betrieb von Netzverbänden, ETZ, № 44, ноябрь 1934 г., стр. 1069.

мых мощностей будет меньше, чем суммарная величина отдаваемых мощностей, и ведущие машины, получая ускорение, быстро выравнивают частоту.

Если выбрать характеристики отдельных сетей таким образом, чтобы при нормальной частоте получаемая и отдаваемая мощность имели предписанные величины, то эта частота будет поддерживаться нормальной, так как сумма получаемых и отдаваемых мощностей по всем сетям должна быть равна нулю.

Способ регулирования по характеристикам сети позволяет таким образом поддерживать одновременно и нормальную частоту и нормальный обмен, причем каждая из сетей покрывает свои толчки нагрузки самостоятельно. Регулирование частоты и нагрузки объединено так же, как при регулировании числа оборотов параллельно работающих



Фиг. 236. Пример установки сетевых характеристик при соединении трех сетей.

Сеть I отдает мощность; сеть II отдает мощность; сеть III получает мощность.

машин при помощи скоростных регуляторов. Разница состоит только в том, что при работе машин и потребителей последние работают без всякой закономерности, в то время как при параллельной работе сетей определенную характеристику имеют как сети, отдающие мощность и работающие по генераторному режиму, так и сети, получающие мощность, т. е. работающие как потребители. Поэтому здесь должно получаться теоретически точное поддержание частоты, несмотря на наклонные характеристики сетей.

При регулировании по сетевым характеристикам действие регуляторов происходит правильно также и при аварийных условиях.

Наиболее тяжелым случаем здесь является разделение сетей. Если взять для сети с суммарной нагрузкой в 300 MW нагрузку соединительных линий в 30 MW и коэффициент неравномерности в 3%, то получится, что частота в точке холостого хода характеристики сети при ее отделении из параллельной работы с другими будет отличаться от нормальной в ту или другую сторону на величину в 0,3%. Таким образом частоты отделившихся сетей будут отличаться друг от друга незначительно.

При регулировании по сетевым характеристикам можно объединять в отдельные единицы внутри сетей также и отдельные части сети или отдельные группы станций в том случае, если они при нормальной частоте должны отдавать или получать определенную мощность и все внутренние колебания нагрузки должны покрывать сами.

Если в системе установлены синхронные часы и помимо регулирования частоты должно регулироваться также и время системы, то это

осуществляется при помощи перемещения всех сетевых характеристик вверх или вниз в зависимости от разницы между временем системы и астрономическим временем. Небольшие отклонения частоты, которые могут возникнуть вследствие недостаточно точной установки сетевых характеристик, в этом случае будут немедленно выравниваться; особенное значение это имеет при разделении сетей, так как получившаяся по характеристике сети частота холостого хода будет в этом случае по истечении некоторого промежутка времени автоматически снижена до нормальной величины.

При оценке описанного способа регулирования с точки зрения общих требований можно сказать следующее:

а) Поддержание частоты в пределах $0,1-0,2\%$ вполне достижимо и принципиально требует более простых регуляторов, поскольку изменения нагрузки в соседних сетях и изменение частоты энергосистемы действуют в одну и ту же сторону.

б) Точное поддержание нагрузки соединительных линий обеспечивается самим принципом регулирования.

в) Между отдельными сетями функции регулирования частоты и нагрузки распределяются автоматически. Для распределения этих функций между отдельными станциями внутри сети необходимо применение средств телемеханики. Если ведущая станция в сети расположена на расстоянии от места присоединения соединительных линий, то применение средств телемеханики необходимо также и при осуществлении регулирования на одной станции.

г) Передача функций регулирования частоты и нагрузки с одной станции на другую возможно, однако требует установки на этих станциях регуляторов, часть из которых нормально будет бездействовать.

д) Нагрузка станций, не участвующих в регулировании, поддерживается на установленной величине, получая небольшие отклонения только на момент регулирования частоты.

е) В моменты аварий работа регуляторов происходит неправильно, однако ухудшения, вносимые регуляторами, в этом случае незначительны.

Способ регулирования частоты и нагрузки по сетевым характеристикам предложен сравнительно недавно, эксплуатационно не проверен и пока еще не получил распространения. Существенным недостатком его при применении в условиях СССР является то, что он дает строго фиксированную величину обмена мощности по соединительным линиям, причем изменение этой величины требует перестройки всех регуляторов. Это затрудняет маневренное использование этих линий в качестве резерва на случай нехватки мощности в одной из сетей.

55. Интегральное регулирование

Предположим, что процесс первичного регулирования заканчивается очень быстро и скоростной регулятор машины устанавливает новое число оборотов, соответствующее скоростной характеристике его, почти сейчас же после изменения нагрузки.

Предположим также, что вторичное регулирование имеет прогрессивный характер, т. е. интенсивность его изменяется пропорционально величине отклонения частоты от нормальной (фиг. 237).

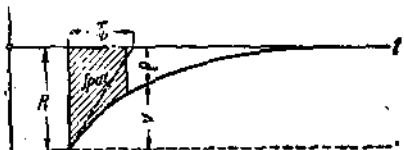
Изменение интенсивности вторичного регулирования осуществляется или изменением скорости перестановки регулятора или же изменением продолжительности регулирования.

Обозначим мгновенную величину отклонения числа оборотов от нормального в процессе вторичного регулирования через e . Скорость перестановки регулятора при интенсивности вторичного регулирования, пропорциональной величине отклонения, выразится при этом следующим выражением:

$$\frac{de}{dt} = -\frac{1}{T_v} e,$$

или

$$de = -\frac{1}{T_v} e dt.$$



Фиг. 237. Протекание процесса вторичного регулирования.

В этом выражении T_v — постоянная времени вторичного регулирования, т. е. время, в течение которого перестановка скоростного регулятора заканчивается полностью при максимальном отклонении и максимальной скорости перестановки. Знак минус в правой части уравнения поставлен потому, что скорость перестановки всегда противоположна отклонению, так как регулятор частоты всегда стремится уменьшить отклонение частоты от нормальной.

Проинтегрировав написанное выше выражение, получим для процесса вторичного регулирования следующее уравнение:

$$e = C - \frac{1}{T_v} \int e dt,$$

при $t = 0$

$$e = C = R,$$

где R — величина максимального отклонения.

Поэтому

$$e = R - \frac{1}{T_v} \int e dt.$$

Работа автоматического регулятора в процессе вторичного регулирования будет определяться уравнением

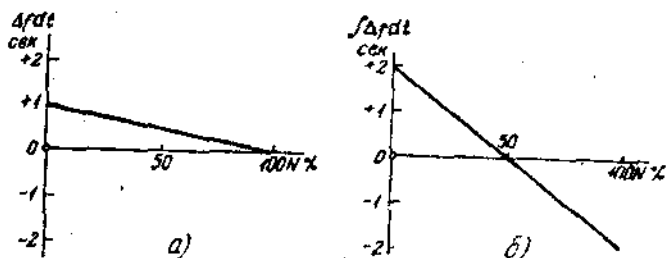
$$V = R - e = \frac{1}{T_v} \int e dt,$$

где $V = R - e$ представляет собой перемещение регулятора в процессе вторичного регулирования. Величину этого перемещения можно считать с некоторым приближением пропорциональной изменению мощности регулируемой машины. Если принять, кроме того, что величина e пропорциональна изменению частоты Δf , то написанное выше уравнение примет вид

$$N \approx \frac{k}{T_v} \int \Delta f dt,$$

где k — коэффициент пропорциональности между N и V , т. е. изменение мощности машины пропорционально интегралу отклонения частоты по времени. Если отложить величину мощности машины в зависимости от интеграла изменения частоты по времени (фиг. 238), то получится характеристика, аналогичная характеристике скоростного регулятора и отличающаяся от нее только тем, что изменение нагрузки машины происходит в зависимости от интеграла отклонения частоты по времени, сама же частота имеет в любой точке характеристики постоянную величину.

Если снабдить станции, работающие в энергосистеме, регуляторами, изменяющими их нагрузку в зависимости от интеграла отклонения частоты по времени, то получится способ регулирования частоты, ана-



Фиг. 238. Характеристики интегральных регуляторов при одновременной загрузке станций.

а — станция № 1; б — станция № 2.

логичный способу регулирования частоты со скоростными регуляторами, но при неизменной частоте. Устанавливая для отдельных станций различные степени неравномерности интегральных характеристик или смещая их относительно друг друга, можно получить любое желаемое распределение нагрузки между станциями и любую очередность повышения или понижения нагрузок отдельных станций.

Измерение интеграла отклонения частоты по времени производится обычно при помощи механизма, сравнивающего электрическое время сети с астрономическим, как было описано на стр. 325.

Интегральный способ регулирования позволяет производить регулирование на нескольких станциях одновременно, не требуя никакой связи между установленными на них регуляторами. Это объясняется, с одной стороны, тем, что регулирование в данном случае производится в зависимости от частоты, общей для всех связанных друг с другом частей энергосистемы, и, с другой стороны, тем, что это регулирование осуществляется по статическим характеристикам и поэтому дает вполне определенное распределение нагрузки между отдельными регулируемыми единицами.

Пусть имеются две станции, работающие параллельно с другими станциями на общую сеть. Предположим, что регуляторы этих станций имеют характеристики, изображенные на фиг. 278.

При интегральном отклонении $+2$ сек. нагрузка обеих станций будет равна нулю. При увеличении нагрузки в сети частота понизится,

и электрическое время станет отставать от астрономического. Интегральное отклонение частоты начнет при этом уменьшаться. Станция № 2 будет забирать нагрузку. При интегральном отклонении частоты, равном $+1$ сек., включится станция № 1. При дальнейшем повышении нагрузки и уменьшении интегрального отклонения обе станции будут загружаться одновременно, пока при интегральной ошибке, равной нулю, станция № 1 не загрузится полностью. При дальнейшем повышении нагрузки интегральное отклонение частоты перейдет в область отрицательных значений. Нагрузка при этом снова будет восприниматься только станцией № 2. При интегральном отклонении, равном -2 сек., обе станции будут нагружены полностью. При уменьшении нагрузки процесс будет происходить в обратном направлении, причем сначала будет разгружаться станция № 2, а затем станция № 1.

Очевидно, что таким же путем можно достигнуть одновременного регулирования по заранее установленным графикам и на нескольких станциях.

При интегральном регулировании пропорционально величине интегрального отклонения частоты устанавливается не абсолютная нагрузка регулируемой станции, а только изменения ее. Благодаря этому величина нагрузки станции может изменяться и независимо от интегрального регулятора путем воздействия на скоростные регуляторы машины от руки или от каких-либо других автоматических регуляторов.

Действие интегральных регуляторов при параллельной работе их на нескольких станциях будет происходить правильно только в том случае, если астрономические часы их будут идти совершенно точно. Отставание или опережение астрономических часов на одном из регуляторов будет давать дополнительную величину интегрального отклонения на этом регуляторе и производить повышение или понижение нагрузки соответствующей станции, нарушая установленное распределение нагрузки. Астрономические часы, даже наиболее совершенные, не могут быть отрегулированы с абсолютной точностью. Фирма Джeneralь Электрик К^о дает для своего интегрального регулятора точность хода астрономических часов в 1 сек. в течение суток. Поэтому перераспределение нагрузок при интегральном регулировании будет всегда иметь место. Это перераспределение не представляет, однако, ничего опасного, так как происходит очень медленно и всегда может быть выправлено путем подрегулировки нагрузки от руки. В некоторых случаях все же применяются меры для синхронизации хода часов отдельных регуляторов. Эта синхронизация производится или периодически по точным сигналам времени (радио) или непрерывно путем корректирования хода часов отдельных регуляторов от общих центральных часов. В последнем случае для соединения регуляторов с местом установки центральных часов необходимы телемеханические линии связи.

Интегральные регуляторы не контролируют непосредственно нагрузку соединительных линий. Однако определенные пределы изменения этой нагрузки могут быть установлены путем соответствующего подбора характеристик регуляторов или при помощи вторичного воз-

ТАБЛИЦА 3

Основные характеристики способов регулирования частоты и нагрузки в энергосистемах

№ по порядку	Требование	Методы регулирования частоты и нагрузки				
		С скоростными регуляторами	С ведущей станцией	Регулирование частоты и нагрузки соединительных линий	Регулирование по сетевой характеристике	Интегральное регулирование
1	Поддержание частоты в пределах 0,1—0,2% . . .	При условии наличия характеристики с степенью неравномерности не больше 2%	Выполняется	Выполняется	Выполняется	Выполняется
2	Поддержание в определенных пределах нагрузки соединительных линий .	Не выполняется. Колебания нагрузки могут достигать величины толчка нагрузки в одной сети	Не выполняется. Колебания нагрузки могут достигать величины толчка нагрузки в нескольких сетях	Выполняется	Выполняется	Выполняется при условии соответствующего подбора характеристик регуляторов

3	Распределение обязанностей по регулированию между несколькими станциями	В регулировании принимают участие все станции	Выполняется при наличии телемеханических связей между станциями	Выполняется при распределении функций регулирования между сетями. Для распределения функций регулирования между станциями необходимы телемеханические связи	Выполняется
4	Передача функций регулирования с одной станции на другую	В регулировании принимают участие все станции	Выполняется	Выполняется	Выполняется
5	Поддержание нагрузки станций, не участвующих в регулировании .	Не выполняется	Выполняется	Выполняется	Выполняется
6	Правильная работа во время аварий	Не выполняется	Не выполняется	Не выполняется, но ухудшения, вносимые работой регуляторов, незначительны	Выполняется

действия на скоростные регуляторы машин от руки или от автоматических регуляторов, ограничивающих изменение нагрузки соединительных линий.

Интегральный способ регулирования частоты и нагрузки получил распространение, главным образом, в Америке, где он применяется в ряде крупных энергосистем.

С точки зрения поставленных выше общих требований интегральный способ регулирования частоты и нагрузки характеризуется следующими свойствами:

- а) Поддержание частоты в пределах 0,1—0,2% вполне достижимо.
- б) Точное поддержание нагрузки соединительных линий не обеспечивается. При нормальном режиме поддержание этой нагрузки в определенных пределах может быть достигнуто путем соответствующего подбора характеристик интегральных регуляторов.
- в) Функции регулирования распределяются между отдельными станциями, имеющими регуляторы, автоматически.
- г) Передача функций регулирования с одной станции на другую возможна. Это, однако, требует установки на этих станциях регуляторов, часть из которых нормально будет бездействовать.
- д) Нагрузка станций, не участвующих в регулировании, поддерживается на постоянной величине, получая небольшие отклонения только на момент отклонения частоты.

е) В моменты аварий работа регуляторов происходит правильно. Основные характеристики описанных выше способов регулирования частоты и нагрузки в энергосистемах сведены в табл. 5. Как можно видеть из этой таблицы, ни один из этих способов не удовлетворяет полностью требованиям, поставленным в начале настоящей главы. Наиболее полно удовлетворяют этим требованиям способ регулирования по сетевым характеристикам и интегральное регулирование. Последнее является, как будто, наиболее привлекательным, поскольку оно не требует точной фиксации величины обмена мощности между отдельными сетями и представляет значительно большую свободу в отношении изменений условий работы отдельных сетей и станций.

ГЛАВА XIII

ТЕЛЕРЕГУЛИРОВАНИЕ

56. Особенности телерегулирования

В ряде способов, рассмотренных в предыдущей главе, для регулирования частоты и нагрузки применяются устройства телеизмерения и телеуправления. Устройства, в которых регулирование связано с применением средств телемеханики, называются устройствами телерегулирования.

Устройства телерегулирования помимо случаев регулирования частоты и нагрузки в энергосистемах применяются и в ряде других случаев. Необходимость в применении телерегулирования встречается, например, при регулировании нагрузки крупных потребителей, имею-

щих собственные силовые установки, работающие параллельно с районной сетью и потребляющие из районной сети энергию по определенному графику. За границей такое регулирование применяется, когда потребитель имеет сильно колеблющуюся нагрузку с резкими толчками, от которых желают оградить районную сеть.

Помимо регулирования активной нагрузки соединительных линий в энергосистемах часто встречается также необходимость в регулировании реактивной нагрузки. При этом задачи и требования, предъявляемые к регуляторам, те же, что и при регулировании активной мощности, с той разницей, что регуляторы в этом случае воздействуют не на регулирующие органы машины, а на возбуждение генераторов.

Телеизмерительная аппаратура при телерегулировании является только одной из составных частей установки. В свою очередь действие установки телерегулирования зависит не только и не столько от нее самой, сколько от режима сети. Поэтому правильное действие телерегулирующей установки является только одним из условий, обеспечивающих правильное регулирование. В этом отношении большое значение имеет приспособляемость телерегулирующей установки к условиям, имеющимся в сети. Как будет показано дальше, эти условия предъявляют особые требования к телерегулирующим установкам и, в частности, к устройствам телеизмерения, связанным с ними.

Одним из основных вопросов при телерегулировании является выбор формы характеристики регулирования. Особенно большое значение это имеет при регулировании нагрузки соединительных линий.

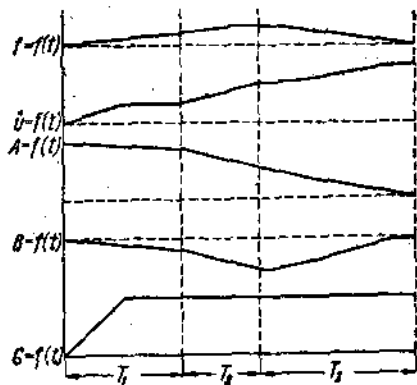
В основном это связано с тем, что регулирование нагрузки соединительных линий происходит с определенным запозданием, вызываемым, с одной стороны, действием самих регуляторов, а с другой стороны, действием телеизмерительной аппаратуры.

Рассмотрим этот вопрос несколько подробнее.

Предположим, что имеются две сети с нагрузками N_1 и N_2 .

В сети А находится автоматический регулятор частоты, поддерживающий частоты обеих сетей на постоянной величине. Нагрузка сети В регулируется по переходу мощности через соединительную линию между обеими сетями, причем регулятор нагрузки воздействует на станцию G, находящуюся во второй сети. Нагрузка N_2 , потребляемая этой сетью, исчисляется без нагрузки этой станции.

Пусть мощность, отдаваемая станцией G, внезапно увеличилась без изменения нагрузки сети (фиг. 239). Так как нагрузка сетей А и В осталась прежней, то изменение нагрузки станции G должно вызвать



Фиг. 239. Изменение нагрузки соединительной линии во времени.

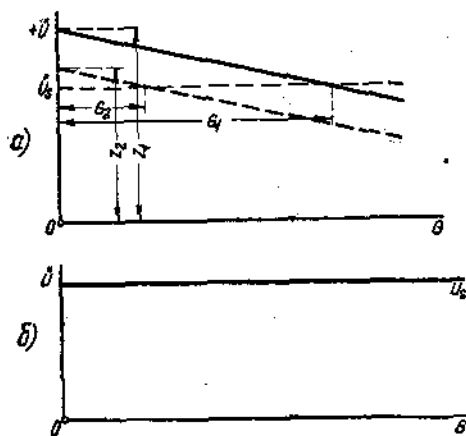
уменьшение нагрузки станций сети A и увеличение перехода U через соединительную линию. Эти изменения произойдут, однако, не сейчас же после изменения нагрузки станции G , а с некоторым замедлением T , где

$$T = T_1 + T_2 + T_3.$$

В первый момент времени после увеличения нагрузки станции G излишек мощности, существующий в сети, пойдет на ускорение вращающихся масс, что вызовет повышение частоты f сети. Через некоторое время T_1 , после того как частота получит некоторое приращение, вступят в действие скоростные регуляторы машин, которые установят временное равновесие, распределив нагрузку между сетями согласно

их статическим характеристикам. По истечении времени T_2 вступит в действие автоматический регулятор частоты, который начнет уменьшать нагрузку сети A , одновременно снижая частоту. Новое установившееся состояние при нормальной частоте наступит через некоторый промежуток времени T_3 , который определяется величиной перестановочной скорости автоматического регулятора частоты.

Телеизмерительные устройства имеют некоторое время установки, благодаря чему изменения величины, поступающей в регулятор, происходят с некоторыми запозданиями по сравнению с изменением нагрузки соединительной линии. В тех



Фиг. 240. Характеристики регулятора нагрузки соединительной линии.

a — статическая характеристика; b — астатическая характеристика.

случаях, когда регулирование нагрузки происходит по нескольким пунктам перехода, к этому прибавляется еще замедление, вызываемое суммированием.

Рассмотрим влияние замедления на процесс регулирования в случае статической и астатической характеристик регуляторов нагрузки.

При астатической характеристике регулятора величина перехода по соединительной линии постоянна:

$$U = U_s.$$

При статической характеристике эта величина изменяется в зависимости от нагрузки регулируемой станции (фиг. 240):

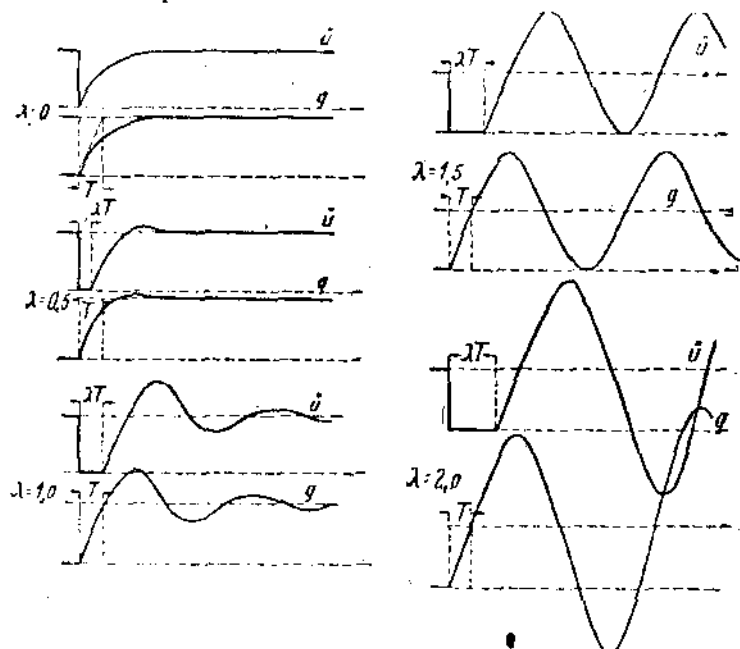
$$U = Z - c'G,$$

где Z — величина нагрузки соединительной линии при нагрузке регулируемой станции $G = 0$ и c' — коэффициент, характеризующий наклон статической характеристики.

Естественная характеристика сети, определяющая нагрузку соединительной линии в зависимости от нагрузки, потребляемой в сети и вырабатываемой на станциях сети, определяется уравнением

$$\dot{U} = C + G,$$

где $C = \Sigma N - \Sigma V$ определяет собой избыток или недостаток мощности в сети, равный разности между мощностью, производимой станциями и потребляемой потребителями.



Фиг. 241. Протекание процесса регулирования при астатической характеристике регуляторов.

При статической характеристике нагрузка соединительной линии получает отклонение от установленной величины. Для того чтобы избежать этих отклонений, сохранив одновременно статическую характеристику регулятора, применяют, так же как это делается при регулировании частоты, регуляторы нагрузки со статической характеристикой и астатической поправкой. Астатическая поправка вносится в соответствии с отклонением нагрузки соединительной линии от предписанной величины при помощи перемещения характеристики регулятора вверх или вниз (фиг. 240). Это осуществляется путем изменения величины Z . При этом регулятор устанавливает значение Z или в зависимости от разности $\dot{U}_s - \dot{U}$ (астатическая корректура) или же в зависимости от разности $\dot{U}_s - (Z - c'G)$ (статическая корректура).

Нагрузка регулируемой станции следует за нагрузкой соединительной линии по истечении времени замедления, которое мы будем

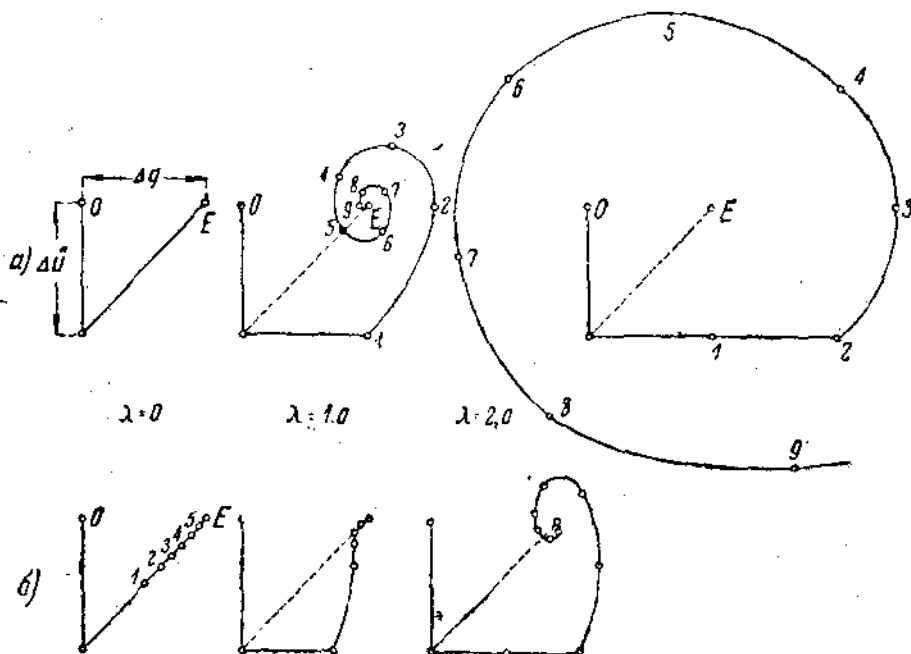
учитывать некоторым коэффициентом λ , представляющим собой отношение времени замедления и постоянной времени регулятора ¹:

$$\lambda = \frac{T_{\text{зам}}}{T_g}.$$

При наличии замедления написанные выше соотношения для нагрузки соединительной линии будут выглядеть следующим образом:

$$\ddot{U}_t = c + G_{(t-\lambda T)};$$

$$\dot{U}_t = Z - c' G_{(t-\lambda T)}.$$



Фиг. 242. Протекание процесса регулирования.

а — астатическая характеристика регулятора; б — статическая характеристика с астатической поправкой.

Влияние величины замедления на протекание процесса регулирования при астатической характеристике регулятора нагрузки изображено на фиг. 241 ². Кривые этой фигуры построены в предположении, что регулирование имеет прогрессивный характер, т. е. что скорость перестановки изменяется пропорционально величине отклонения:

$$\frac{dG}{dt} = - \frac{\ddot{U}_s - \dot{U}}{T_g}.$$

¹ Постоянной времени регулятора называется то время, которое необходимо регулятору для осуществления максимальной перестановки при максимальной скорости его действия.

² См. Stäblein, Regelung von Leistungen insbesondere von Kuppelleistungen in Betrieb grosser Netze, E. u. M. № 39, сентябрь 1932 г.

При $\lambda = 0$, т. е. при отсутствии отставания, величины G и $\dot{U}$ изменяются по показательным кривым. При $\lambda = 0,5$ имеет место перерегулирование, так как в тот момент, когда мощность регулируемой станции G уже достигла нужной величины, нагрузка соединительной линии ее еще не достигнет. Поэтому регулятор мощности, действующий в зависимости от нагрузки соединительной линии $\dot{U}$, будет продолжать повышать величину G , благодаря чему нагрузка соединительной линии превысит нужную величину. Когда $\dot{U}$ превзойдет заданную величину, регулятор дает обратный импульс и будет понижать величину G .

При $\lambda = 1,0$ явление перерегулирования сказывается еще больше и вызывает значительные колебания мощности, постепенно затухающие. При $\lambda = 1,5$ колебания получают незатухающими, а при $\lambda = 2,0$ они прогрессивно возрастают по величине. Регулирование при помощи регуляторов с астатической характеристикой становится при этих значениях замедления невозможным.

На фиг. 242 изображены кривые, характеризующие протекание процесса регулирования, при равных значениях λ для регулятора с астатической характеристикой и для регулятора со статической характеристикой и астатической поправкой. Для наглядности изменение величин G и $\dot{U}$ представлено здесь не в зависимости от времени, а в зависимости друг от друга.

Как и в предыдущем случае, предположено, что регулирование происходит пропорционально величине отклонения, т. е. при астатическом регулировании

$$\frac{dG}{dt} = \frac{\dot{U}_s - \dot{U}}{T_g},$$

при статическом регулировании

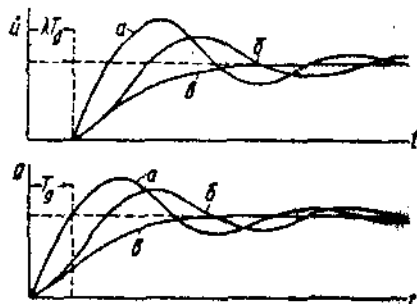
$$\frac{dG}{dt} = \frac{(Z - c \cdot G) - \dot{U}}{T_g};$$

астатическая поправка

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{\dot{U}_s - \dot{U}}{T_g}.$$

При построении кривых принять, кроме того, что $T_g = T_z$.

Применение регуляторов со статической характеристикой и астатической поправкой дает значительно более устойчивое регулирование. Процесс регулирования получается в этом случае затухающим даже при $\lambda = 2,0$.



Фиг. 243. Протекание процесса регулирования при различных характеристиках регуляторов.

a — астатическая характеристика; b — статическая характеристика с астатической корректурой; c — статическая характеристика со статической корректурой.

На фиг. 243 представлено протекание процесса регулирования в зависимости от времени для трех типов регуляторов: с астатической характеристикой (кривая *а*), со статической характеристикой и астатической корректурой (кривая *б*) и со статической характеристикой и статической корректурой (кривая *в*).

Кривые этой фигуры построены для $\lambda = 1,0$.

Наиболее благоприятное протекание процесса регулирования получается для регуляторов нагрузки со статической характеристикой и статической корректурой.

57. Конструктивное выполнение телерегуляторов

Основной задачей телерегулятора, как и всякого другого регулятора, является сравнение существующего значения регулируемой величины с заданным значением и воспроизведение регулирующих импульсов в случае несоответствия этих значений друг другу. Соответственно этому телерегулятор состоит в основном из трех частей: органа, измеряющего существующее значение регулируемой величины, органа, измеряющего или воспроизводящего заданное (предписанное) значение, и органа, сравнивающего эти две величины и дающего при отклонении их друг от друга регулирующие импульсы. Отличительным признаком телерегуляторов является то обстоятельство, что измерение существующего значения регулируемой величины происходит на расстоянии от места установки телерегулятора и передается к нему при помощи устройств телеизмерения. Предписанное значение часто устанавливается также в месте, находящемся на расстоянии от места установки телерегулятора, и для передачи его приходится также прибегать к методам телеизмерения. Органы измерения в телерегуляторах представляют собой поэтому часто телеизмерительные устройства.

Органы сравнения имеют задачей сравнение действительной и предписанной величин. Выше целый ряд таких методов сравнения был уже рассмотрен при изучении компенсационных устройств телеизмерения. Эти же методы в основном применяются и при телерегулировании. Однако задача здесь осложняется тем, что регулируемый объект (двигатель) обладает значительной инерцией, некоторая инерция также имеется и в процессе воздействия нагрузки этого двигателя на регулируемую величину. Чтобы избежать перерегулирования, приходится применять специальные меры, которые сводятся или к осуществлению регулирования импульсами с переменными промежутками или к изменению продолжительности регулирующих импульсов.

Регулирование импульсами осуществляется обычно при помощи введения в цепь регулирования прерывателей, прерывающих через определенные промежутки времени процесс регулирования и вновь включающих его. Величина перерывов выбирается таким образом, чтобы в течение времени перерыва двигатель успел перейти к новому режиму работы соответственно величине перестановки, полученной его регулируемыми органами.

Изменение продолжительности регулирующих импульсов осуществляется двумя способами:

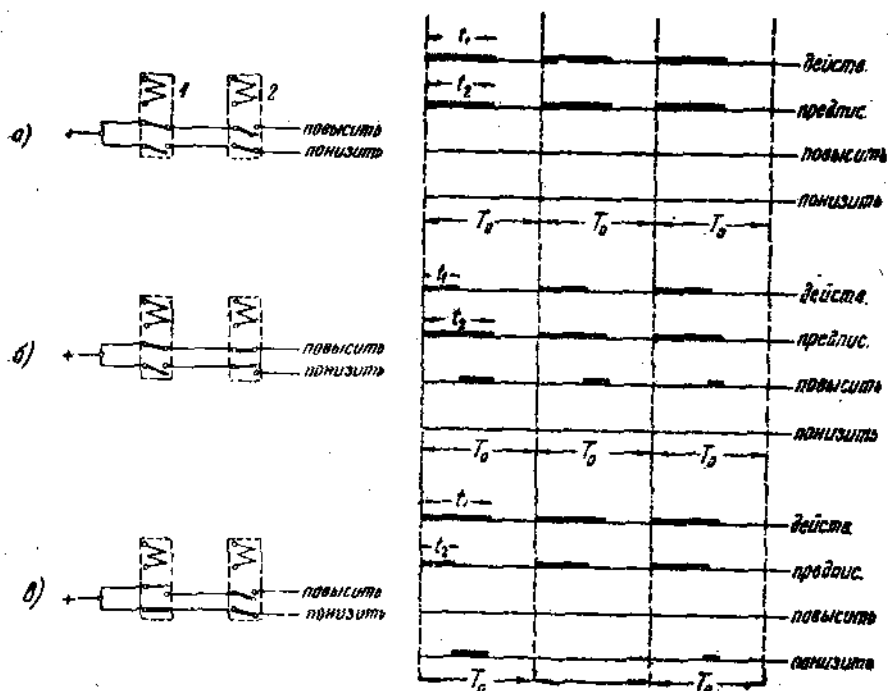
1) Продолжительность регулирующего импульса делается пропорциональной величине отклонения действительного значения от предписанного (прогрессивное регулирование).

2) Продолжительность регулирования ограничивается искажением одной из сравниваемых величин в сторону приближения ее к значению другой величины, благодаря чему момент уравнивания наступает быстрее. Это осуществляется при помощи переставляющих устройств, которые включаются одновременно с переставляющими устройствами регулирующих органов двигателя и переставляют орган сравнения телерегулятора в направлении его уравнивания или же искажают в том же направлении одну из сравниваемых величин. При наступлении равновесия процесс регулирования прекращается. При этом орган сравнения и переставляющее устройство возвращаются в свое первоначальное положение, и сравнение действительной и предписанной величин в их неискаженном виде производится вновь. Если регулируемая величина не достигла заданного значения, то телерегулятор вновь приходит в действие, и весь процесс повторяется снова. Процесс искажения одной из сравниваемых величин носит характер своеобразной обратной перестановки. Однако этот процесс обратной перестановки принципиально отличается от того процесса обратной перестановки, который был описан выше при рассмотрении скоростных регуляторов машин со статической характеристикой. В последних процесс обратной перестановки служит для получения статической характеристики, связан всегда со свойствами самой машины и должен быть приспособляем к ним. В телерегуляторах этот процесс не связан с характеристикой регуляторов, должен быть приспособляем к свойствам сети и должен быть легко изменяем, поскольку свойства сети в процессе ее работы не остаются постоянными, а изменяются в зависимости от изменения режима ее работы. Следует указать, что регуляторы с обратной перестановкой получают значительно более точными, если величину искажения одной из сравниваемых величин делать зависимой от размеров отклонения действительной величины от предписанной.

Конструкция телерегулятора зависит не только от принципа сравнения действительной и предписанной величин, но также и от принятого способа телеизмерения. Если для телеизмерения применяются методы интенсивности, дающие постоянный ток, изменяющийся по своей величине, то конструкция будет совершенно другая, чем в случае применения импульсных методов телеизмерения, дающих импульсы постоянного тока, изменяющиеся по своей частоте или продолжительности. Для упрощения конструкции органов сравнения телерегуляторов в ряде случаев желательно производить измерение как действительной, так и предписанной величины одинаковыми методами, с тем чтобы в орган сравнения телерегулятора поступали величины одинакового характера. Поэтому при телерегулировании часто прибегают к методам телеизмерения и в тех случаях, когда измеряемая величина расположена вблизи телерегулятора. При расположении обеих величин на расстоянии для передачи их применяют одинаковые методы телеизмерения.

Телерегуляторы могут быть классифицированы с точек зрения: методов сравнения действительной и предписанной величин, методов получения регулирующих импульсов и методов телеизмерения.

Поскольку методы сравнения были подробно рассмотрены в главе о телеизмерениях, мы будем рассматривать телерегуляторы с точки зрения способов получения регулирующих импульсов. Отдельно будут рассмотрены универсальные регуляторы, которые могут быть использованы для регулирования различных величин и являются наиболее приспособленными к условиям работы сетей больших энергосистем.



Фиг. 244. Получение регулирующих импульсов в регуляторах с время-импульсным телеизмерением.

С точки зрения способов получения регулирующих импульсов телерегуляторы можно разделить на следующие группы:

- а) с непосредственным получением регулирующих импульсов;
- б) с прогрессивным регулированием;
- в) с обратной перестановкой.

а) Телерегуляторы с непосредственным получением регулирующих импульсов. Телерегуляторы с непосредственным получением регулирующих импульсов изготавливаются фирмой АЕГ. В этих регуляторах применяется время-импульсный метод телеизмерения, т. е. измеряемые величины преобразуются в импульсы, продолжительность которых пропорциональна значению измеряемых величин. Поэтому для их сравнения достаточно сравнивать продолжительность получаемых

импульсов. Если при этом совместить время начала обоих импульсов, то промежуток времени между их окончаниями будет пропорционален отклонению действительной величины от предписанной (фиг. 244) и может быть непосредственно использован для получения прогрессивного регулирующего импульса.

Получение регулирующего импульса осуществляется при помощи двух реле, одно из которых включается и выключается под действием импульсов телеизмерения, получаемых от действительной величины, а другое — под действием импульсов, получаемых от предписанной величины. Контакты этих реле соединены последовательно друг с другом по схеме, изображенной на фиг. 244, и включают цепь вспомогательного моторчика регулируемой машины в направлении «повысить» или «понижить».

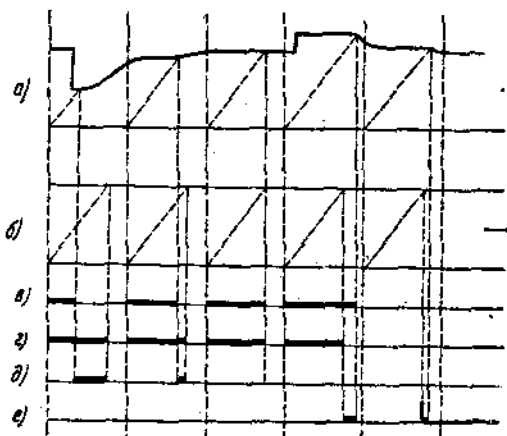
Если действительная величина равна предписанной, то реле 1 и 2 будут переключать свои контакты одновременно. Цепь регулирующего моторчика будет при этом оставаться разомкнутой. Если действительная величина меньше предписанной, то реле 1 будет отпускать свои контакты раньше, чем реле 2.

При этом на момент времени, пока реле 2 остается во включенном состоянии, будет замкнута цепь регулирующего моторчика в направлении «повысить» (фиг. 244, б).

Если действительная величина больше предписанной, то первым лишится тока и отпустит свои контакты реле 2. При этом цепь регулирующего моторчика замкнется в направлении «понижить» (фиг. 244, в).

На фиг. 245 изображено протекание процесса регулирования. В верхней части изображено протекание действительной и предписанной величин, а в нижней части импульсы, даваемые телеизмерительными установками, и регулирующие импульсы. Как можно видеть из фиг. 245, продолжительность регулирующих импульсов получается пропорциональной отклонению действительной величины от предписанной.

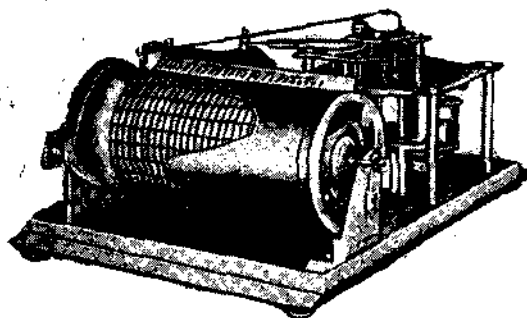
Для получения импульсов, пропорциональных предписанной величине, в тех случаях, когда эта величина изменяется по заранее установленному графику, фирма АЕГ применяет специальный регулятор, который производит необходимые изменения предписанной величины



Фиг. 245. Протекание регулирования при регуляторах с непосредственным получением регулирующих импульсов.

а — изменение действительной величины; б — предписанная величина; в — импульсы телеизмерения действительной величины; г — импульсы телеизмерения предписанной величины; д — регулирующие импульсы «повысить»; е — регулирующие импульсы «понижить».

автоматически. Внешний вид этого регулятора изображен на фиг. 246. Он состоит из металлического барабана, приводимого во вращение часовым механизмом, и контактного рычага, движущегося по поверхности барабана, совершая колебания взад и вперед параллельно его оси. Движение рычага по барабану происходит во всех частях его пути с равномерной скоростью. На барабан накладывается лента из изолирующего материала, которая вырезана таким образом, чтобы остающаяся открытой металлическая поверхность барабана воспроизводила желаемый график изменения предписанной величины. При движении контактного рычага по барабану рычаг, проходя по откры-



Фиг. 246. Регулятор графика нагрузки фирмы АЕГ с время-импульсной передачей.

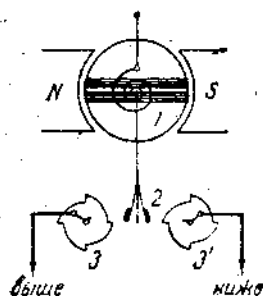
той металлической части, будет контактировать с ней и давать импульсы. Продолжительность этих импульсов пропорциональна величине открытой металлической части в направлении оси барабана.

б) Телерегуляторы с прогрессивным регулированием. Этот тип регуляторов изготовляется рядом фирм. Изменение продолжительности регулирующих импульсов пропорционально отклонению дей-

ствительной величины от предписанной и осуществляется здесь при помощи специальной формы контактных устройств. Типичным представителем этого типа устройств является дифференциальное реле, применяемое в универсальном регуляторе фирмы АЕГ (см. стр. 367). Это реле, изображенное на фиг. 247, имеет две обмотки, через которые пропускаются токи, пропорциональные величинам. При равновесии токов моменты, даваемые обмотками и действующие на подвижную часть реле в противоположных направлениях, взаимно уравновешиваются, и подвижная часть остается в нейтральном положении. При нарушении равновесия подвижная часть реле 1 под влиянием преобладающего момента одной из обмоток перемещается в ту или другую сторону, причем это перемещение получается пропорциональным отклонению действительной величины от предписанной. Неподвижная часть 1 несет на себе контакт 2, который при отклонении из нейтрального положения приходит в соприкосновение с вращающимися контактными шайбами 3 и 3'. Эти шайбы имеют фасонные зубцы, которые при вращении их приходят в соприкосновение с контактом 2 и посылают регулирующие импульсы. Продолжительность соприкосновения зубцов контактных шайб с контактом 2, а вместе с тем и продолжительность регулирующих импульсов пропорциональна величине отклонения контакта 2 от нейтрального положения. Так как это отклонение пропорционально разнице между предписанной и действительной величинами, то продолжительность регулирующих импульсов пропорциональна также этой величине.

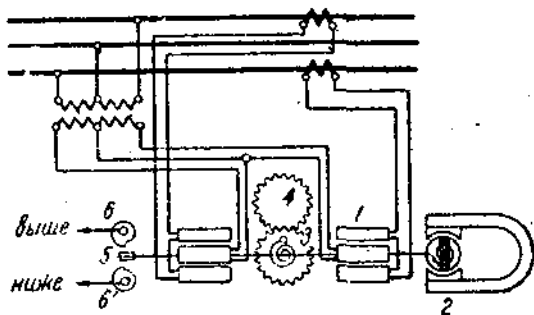
Изменяя форму зубцов контактных шайб, можно получить любой закон изменения продолжительности регулирующих импульсов, а меняя скорость вращения шайбы, можно изменить величину импульсов и интервалов между ними.

На фиг. 248 приведена схема телерегулятора фирмы Вестингауз. Сравнение регулируемой и предписанной величин здесь производится, так же как и в компенсационном устройстве телеизмерения той же фирмы (см. стр. 77), при помощи весов Кельвина 1, уравниваемых рамкой магнитоэлектрического прибора 2, через которую проходит ток, пропорциональный телеизмеряемой величине. При помощи



Фиг. 247. Регулирующее реле фирмы АЕГ.

1 — измерительная система с двумя обмотками; 2 — контакт; 3 и 3' — контактные шайбы.



Фиг. 248. Принципиальная схема телерегулятора фирмы Вестингауз.

1 — элемент Кельвина; 2 — магнитоэлектрический прибор; 3 — пружина; 4 — зубчатая передача; 5 — контакт; 6 — контактные кулачки

кельвиновского элемента, служащего в качестве ваттметра, измеряется нагрузка регулируемой машины или станции. Пружина 3 дает дополнительный момент на ось кельвиновского элемента и служит для установки предписанной величины. При изменении натяжения этой пружины, которое производится при помощи зубчатой передачи 4, снабженной задерживающей собачкой, изменяются условия уравнивания подвижной системы кельвиновского элемента. Вместе с тем изменяется и величина тока, которая должна протекать через прибор 2, и, следовательно, значение действительной величины, телеизмеряемой этим прибором.

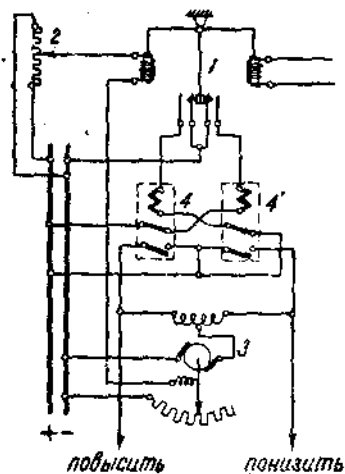
Для получения импульсов, изменяющихся по своей продолжительности, применяется тот же способ, что и в описанном выше реле фирмы АЕГ. Контакт 5, находящийся на подвижной части кельвиновского элемента, помещен между двумя вращающимися кулачками 6 и 6'. При отклонении контакта 5 от среднего положения он приходит в соприкосновение с одним из кулачков и замыкает цепь регулирующего моторчика в направлении «повысить» или «понижить». Продолжительность этого замыкания получается тем большей, чем большее отклонение получил контакт 5. Описанный регулятор имеет, как это можно видеть из описания принципа его действия, статическую характеристику.

в) Телерегуляторы с обратной перестановкой. Телерегуляторы с обратной перестановкой изготавливаются фирмой Броун-Бовери. Принципиальная схема телерегулятора изображена на фиг. 249.

Он состоит из дифференциального реле 1, автоматического регулятора графика нагрузки 2, аппарата обратной перестановки 3 и реле управления 4 и 4'.

Дифференциальное реле состоит из двух измерительных систем, действующих друг против друга, и контактного устройства. Через одну из систем протекает ток от телеизмерительного устройства, измеряющего действительную величину. Другая система измеряет ток,

устанавливаемый автоматически или от руки регулятором предписанной нагрузки 2. Дифференциальное реле сравнивает эти токи и при отклонении действительной величины от предписанной замыкает правые или левые контакты. При замыкании контактов включается реле управления 4 или 4'. Это реле включает своими контактами цепь регулирующего моторчика в направлении «повыситься» или «понизиться». Одновременно включается аппарат обратной перестановки 3. Последний представляет собой сопротивление, величина которого изменяется при помощи маленького вспомогательного моторчика. Этот моторчик включается одновременно с регулирующим моторчиком и изменяет величину сопротивления аппарата обратной перестановки, включенного в цепь левой катушки дифференциального реле, измеряющей предписанную величину. Изменение величины этого сопротивления меняет величину тока в катушке дифференциального реле,



Фиг. 249. Принципиальная схема телерегулятора фирмы Броун-Бовери.

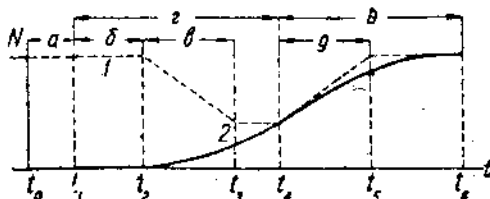
1 — дифференциальное реле; 2 — регулятор предписанной нагрузки; 3 — аппарат обратной перестановки; 4 и 4' — реле управления.

искажая значение предписанной величины. Это искажение производится в направлении приближения предписанной величины к действительной. Например, в случае увеличения действительной величины по сравнению с предписанной сопротивление аппарата обратной перестановки выводится, и предписанная величина искажается в сторону увеличения. При уменьшении действительной величины сопротивление аппарата обратной перестановки, наоборот, вводится, и предписанная величина искажается в сторону уменьшения.

Благодаря искажению предписанной величины уравнивание дифференциального реле и выключение регулирующего моторчика происходят раньше, чем действительная нагрузка сравняется с предписанной. Это опережение выбирается таким образом, чтобы оно компенсировало величину инерции регулируемой машины и выключение регулирующего моторчика происходило в тот момент, когда паровпускные отверстия турбин открыты как раз настолько, насколько это тре-

буются для достижения предписанной нагрузки. Этого, однако, не всегда удается достигнуть вследствие того, что инерция регулируемой машины не является постоянной, а изменяется в зависимости от изменения ряда эксплуатационных факторов. Поэтому регулируемая величина устанавливается не сразу, а по истечении нескольких циклов регулирования. Для того чтобы иметь возможность снова сравнивать действительную величину с предписанной, необходимо предварительно вернуть аппарат обратной перестановки в нулевое положение, чтобы уничтожить произведенное искажение предписанной величины. Это осуществляется автоматически при отпадении реле 4 или 4' при помощи специальных цепей, связанных с этими реле и ради простоты не показанных на схеме фиг. 249. Возвращение аппарата обратной перестановки в нулевое положение стараются осуществлять с той же постепенностью, с которой машина добирает в силу инерции нагрузку до предписанной величины. На это время дифференциальное реле выключается, с тем чтобы оно не могло произвести неправильного действия, сравнивая действительную величину с еще искаженной предписанной величиной.

Протекание процесса регулирования при применении регулятора Броун-Бовери изображено на фиг. 250.



Фиг. 250. Протекание процесса регулирования в регуляторе Броун-Бовери.

а — время инерции телеизмерительной системы и регулятора; б — выдержка времени регулятора; в — работа аппарата обратной перестановки; г — время работы перестанавливающего моторчика; д — возвращение аппарата обратной перестановки в нулевое положение; е — время блокирования дифференциального реле.
 1 — предписанная величина; 2 — действительная величина.

58. Универсальный регулятор фирмы АЕГ

Появление универсальных регуляторов было вызвано стремлением удовлетворить всем многообразным требованиям и различным условиям работы в энергосистемах при помощи одного регулятора. Появление универсальных регуляторов объясняется также тем, что функции, выполняемые ими в определенной точке энергосистемы, часто меняются и может, например, оказаться необходимым на какой-либо станции поочередно регулировать то частоту, то нагрузку. Для этого необходимо иметь на этой станции два отдельных регулятора или же иметь один, который путем несложных переключений мог бы переключаться с выполнения одной функции на другую.

Ниже приводится описание двух универсальных регуляторов: фирмы АЕГ и фирмы Сименс.

В универсальном регуляторе АЕГ сравнение действительной и предписанной величин происходит при помощи дифференциальных реле специального типа. Для этого сравнения все величины, участвующие в регулировании, преобразуются в постоянный ток. Легкость, с кото-

рой постоянный ток позволяет производить сложение, вычитание, умножение и тому подобные действия, позволяет сравнительно просто вводить в работу регулятора целый ряд поправок, выполнять регулирование в зависимости от нескольких величин, вводить дополнительные зависимости для устранения перерегулирования и т. п.

Прежде чем переходить к изложению принципов действия и конструкции регулятора, рассмотрим коротко применяемые фирмой АЕГ способы преобразования в постоянный ток различных величин, от которых зависит процесс регулирования.

Для преобразования мощности пригодно любое из телеизмерительных устройств, дающих преобразование измеряемой величины в постоянный ток. Наиболее пригодными являются, однако, компенсационные устройства, дающие большую точность и не зависящие от сопротивления линий связи и колебания напряжения вспомогательных источников тока. Фирма АЕГ применяет для измерения мощности свое компенсационное устройство телеизмерения вибрационного типа (см. стр. 90), которое помимо перечисленных выше свойств, присущих всем компенсационным устройствам телеизмерения, обладает еще и малой инерционностью, что имеет при телерегулировании большое значение.

Для измерения мощности в месте расположения регулятора фирма АЕГ применяет специальную схему с трехэлектродными электронными лампами, которая дает абсолютно безинерционное преобразование мощности в постоянный ток. Так как эта схема не дает достаточно точного измерения, то преобразованный постоянный ток корректируется при помощи дополнительной компенсационной схемы. Эта схема сравнивает величину постоянного тока, полученного при помощи электронной схемы, с величиной измеряемой мощности и в зависимости от этого сравнения исправляет значение этого тока, давая некоторый дополнительный ток. Благодаря применению электронной схемы наибольшая часть постоянного тока, измеряющего мощность, дается безинерционно, что обеспечивает быстрое действие регулятора. В ряде случаев измерение мощности регулируемой машины удобно производить по положению паровпускных органов. Это измерение производится в таких случаях при помощи сопротивления или потенциометра, переставляемого в зависимости от положения штока паровпускного вентиля, которое с достаточным приближением может являться мерилom электрической мощности, отдаваемой машиной.

Измерение частоты осуществляется при помощи мостика переменного тока, подобного описанному на стр. 324.

Переменный ток, протекающий в диагонали мостика и служащий мерилom отклонения частоты от нормальной, преобразуется в постоянный при помощи схемы с трехэлектродными электронными лампами. Как показал опыт, применение такой схемы дает почти безинерционное измерение частоты и может обеспечить действие регулятора уже при отклонениях частоты в 0,001 Hz.

Этот способ измерения частоты дает при нормальной частоте ток, равный нулю, при повышении частоты — ток положительной полярности и при понижении частоты — ток отрицательной полярности.

В ряде случаев при телерегулировании может встретиться необходимость в преобразовании интегральных величин.

Это нужно, например, при регулировании частоты по интегральной ошибке или при регулировании частоты в сетях, к которым приключено большое количество синхронных часов. Само преобразование осуществляется при помощи прибора, подобного описанным выше часам для контроля частоты. Если к дифференциальной стрелке таких часов прикрепить щетку, перемещающуюся по потенциометру, как это показано на фиг. 251, то при ошибке, равной нулю, такой прибор будет давать ток, равный нулю. При опережении синхронного времени будет получаться ток положительной полярности, а при отставании синхронного времени — отрицательной.

Перейдем к описанию принципа действия регулятора и схем его включения для различных случаев применения.

Универсальный регулятор АЕГ не представляет собой особой конструкции, объединяющей все части регулятора. Он состоит из ряда реле, регулировочных сопротивлений и перестановочных моторчиков,

которые в зависимости от назначения регулятора и схемы его включаются в различных комбинациях. Регулирование осуществляется путем воздействия на переставляющие моторчики скоростных регуляторов машин. Сравнение величин, участвующих в регулировании, производится при помощи дифференциальных реле, которые были описаны в предыдущем разделе (см. стр. 364).

Рассмотрим различные схемы включения универсального регулятора АЕГ.

а) Регулятор нагрузки со статической характеристикой. Схема включения элементов регулятора для получения регулятора нагрузки со статической характеристикой показана на фиг. 252.

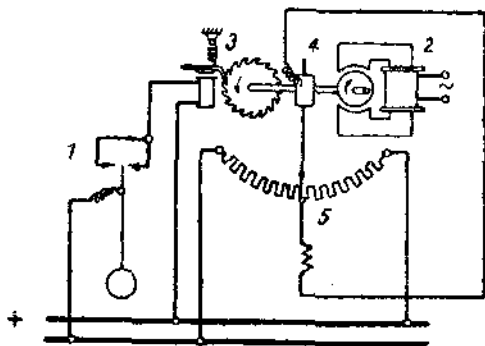
Регулирование нагрузки машины происходит здесь в зависимости от нагрузки соединительной линии. Эта нагрузка телеизмеряется в виде постоянного тока i_a , пропорционального нагрузке соединительной линии:

$$i_a = C_a \ddot{U},$$

где $\ddot{U}$ — нагрузка соединительной линии,

C_a — коэффициент пропорциональности.

Для получения статической характеристики служит ток i_h , получаемый от потенциометра P_h , связанного со штоком паровпускного



Фиг. 251. Преобразование в постоянный ток интегральных величин.

1 — астрономические часы; 2 — синхронный моторчик; 3 — механизм, переставляемый от астрономических часов; 4 — дифференциал; 5 — потенциометр.

вентиля 4. Величина этого тока пропорциональна нагрузке регулируемой машины

$$i_h = C_g G,$$

где G — нагрузка регулируемой машины и C_g — коэффициент пропорциональности.

Изменение характеристики регулятора производится при помощи тока i_z , получаемого от потенциометра P_z , переставляемого от руки. Величину этого тока можно считать пропорциональной некоторой начальной нагрузке

$$i_z = C_u Z.$$

Как можно видеть из схемы фиг. 252, условие равновесия реле определяется уравнением

$$i_u + i_h = i_z$$

или

$$C_u \ddot{U} + C_g G = C_u Z,$$

отсюда

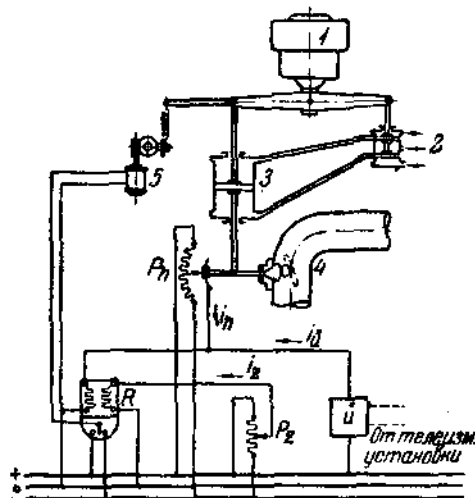
$$\ddot{U} = Z - \frac{C_g}{C_u} G = Z - C'G.$$

Это уравнение представляет собой статическую характеристику регулятора (см. стр. 356). Нагрузка соединительной линии убывает при увеличении нагрузки регулируемой машины. При помощи изменения тока i_z (изменения величины Z) характеристика

регулятора может быть перемещена вверх или вниз (фиг. 240), и таким путем можно получать различную величину нагрузки регулируемой машины при одной и той же величине нагрузки соединительной линии.

Если приемник телеизмерений U заменить частотомером, то описанный регулятор превратится в автоматический регулятор частоты со статической характеристикой.

б) Статический регулятор нагрузки с астатической поправкой. Схема регулятора нагрузки с астатической поправкой (фиг. 253) отличается от описанной выше тем, что перестановка потенциометра P_z осуществляется не от руки, а автоматически, при помощи моторчика б, включаемого реле R_2 . Это реле сравнивает сумму токов $i_h + i_z$ с током i_s , даваемым регулятором графика нагрузки SU , который изменяет этот ток в зависимости от величины предписанной нагрузки соединительной линии. Действие регулятора происходит следующим образом:



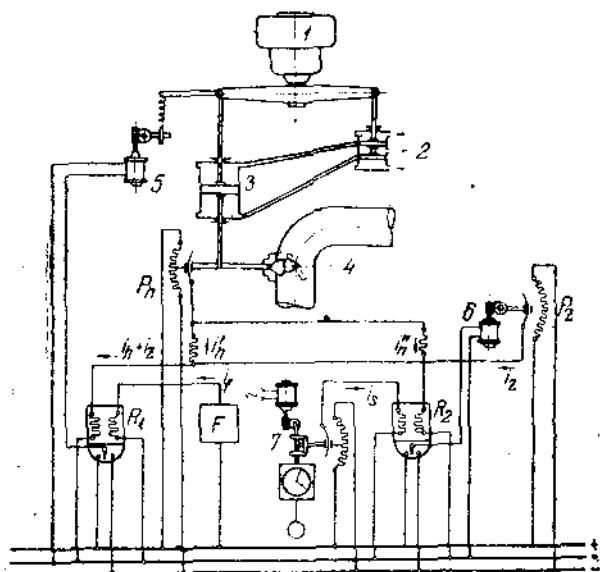
Фиг. 252. Регулятор нагрузки со статической характеристикой.

1 — центробежный регулятор; 2 — золотник; 3 — сервомотор; 4 — паровпускной клапан; 5 — переставляющий моторчик; P_h — потенциометр, связанный со штоком паровпускного клапана; $\ddot{U}$ — измеритель нагрузки соединительной линии; R — дифференциальное реле; P_z — потенциометр, регулируемый от руки.

нагрузке регулируемой станции нагрузка соединительной линии равнялась нулю. В описанной схеме это осуществляется автоматически, если установить предписанную величину нагрузки $S\dot{U}$ на нуль.

в) Интегральный регулятор частоты. Схема этого регулятора (фиг. 254) одинакова со схемой регулятора нагрузки с астатической поправкой. Разница состоит только в том, что вместо измерителя на-

грузки $\dot{O}$ имеется измеритель частоты F и что потенциометр P_z переставляется не от планового регулятора $S\dot{U}$, а от контрольных часов 7, измеряющих интегральное отклонение частоты во времени. Контрольные часы связаны с потенциометром, который дает ток i_s в дифференциальное реле R_2 . Другая обмотка этого реле питается от потенциометра P_h , дающего ток, пропорциональный нагрузке регулируемой машины. Основное регулирование частоты производится при помощи измерителя частоты F и реле R_1 по статической характеристике. Контрольные часы корректируют это регулирование,



Фиг. 254. Интегральный регулятор частоты.

1 — центробежный регулятор; 2 — золотник; 3 — сервомотор; 4 — паровпускной вентиль; 5 — переставляющий моторчик регулятора; 6 — переставляющий моторчик потенциометра P_z ; 7 — контрольные часы с потенциометром; P_h — потенциометр, связанный со штоком паровпускного вентиля; P_z — потенциометр поправки; F — измеритель частоты; R_1 — дифференциальное реле регулятора; R_2 — дифференциальное реле поправки.

перемещая характеристику регулятора вверх или вниз при помощи перестановки потенциометра P_z в зависимости от интегрального отклонения частоты во времени.

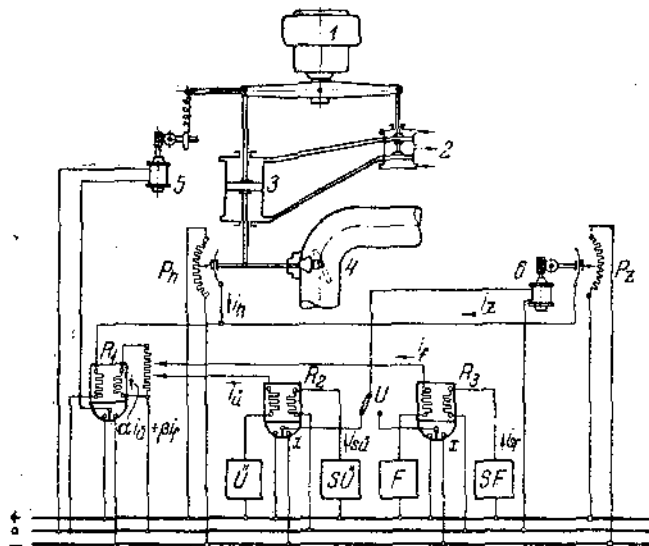
г) Комбинированный регулятор частоты и нагрузки. Схема комбинированного регулятора частоты и нагрузки изображена на фиг. 255. В этом регуляторе в дифференциальное реле R_1 , воздействующее на скоростной регулятор машины, поступает одновременно с током i_a , зависящим от нагрузки соединительной линии, также ток i_f , зависящий от частоты. Эти токи поступают в обмотку реле R_1 через делитель тока, позволяющий устанавливать между ними любое соотношение. Благодаря делителю тока в обмотку реле поступает только часть токов $i_f + i_a$, и суммарная сила тока в ней равна

$$\alpha i_a + \beta i_f.$$

Условие равновесия токов в реле R_1 определяется уравнением

$$\alpha i_u + \beta i_f + i_h + i_z = 0.$$

Как можно видеть из этого уравнения, реле R_1 приходит в действие и при изменении тока i_u и при изменении тока i_f и осуществляет, таким образом, регулирование машины и при изменении нагрузки соединительной линии и при изменении частоты. Регулирование происходит как



Фиг. 255. Комбинированный регулятор нагрузки и частоты.

1 — центробежный регулятор; 2 — золотник; 3 — сервомотор; 4 — паровпускной вентиль; 5 — перестановочный моторчик регулятора; 6 — перестановочный моторчик потенциометра P_h ; P_h — потенциометр, связанный со штоком паровпускного вентиля; P_z — потенциометр поправки; U — измеритель нагрузки соединительной линии; SU — измеритель предписанной величины нагрузки; F — измеритель частоты; SF — измеритель предписанной частоты; R_1 — дифференциальное реле регулятора; R_2 — дифференциальное реле поправки от нагрузки; R_3 — дифференциальное реле поправки от частоты; U — переключатель.

для нагрузки соединительной линии, так и для частоты по статической характеристике. Если, например, ток αi_u понизится на 1 мА, то реле включит перестанавливающий моторчик 5 регулятора в направлении повышения нагрузки и будет его держать включенным до тех пор, пока ток i_h не повысится также на 1 мА. Таким образом при понижении нагрузки соединительной линии на 1 MW нагрузка машины будет увеличена на некоторую величину δ MW, где δ — степень неравномерности регулятора в отношении нагрузки соединительной линии. Если изменится ток βi_f , то реле R_1 снова включит перестанавливающий моторчик регулятора и будет держать его включенным до тех пор, пока такое же изменение не получит ток i_h . Благодаря этому при повышении частоты, например, на 0,1 Hz регулятор понизит нагрузку машины на некоторую величину 0,1 γ MW, где γ — степень неравномерности ре-

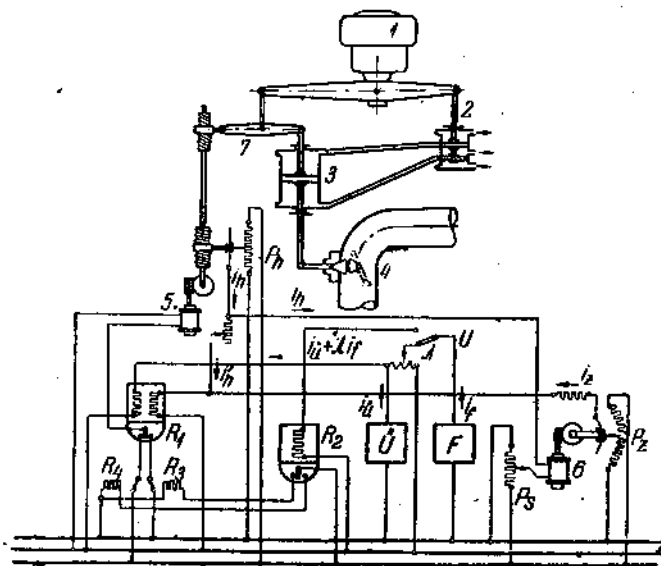
гулятора в отношении частоты. Таким образом между нагрузкой машины и нагрузкой соединительной линии, или частотой, будет существовать определенная зависимость, соответствующая статической характеристике регулятора.

При помощи изменения величины тока i_z в действие регулятора вводится астатическая поправка. Изменение величины i_z происходит, так же как и в других схемах, при помощи перестановки потенциометра P_z . Перестановка этого потенциометра происходит при помощи моторчика 6 или от регулятора предписанной нагрузки SU , воздействующего на реле R_2 , или же от регулятора предписанной частоты SF , воздействующего на реле R_3 . В первом случае регулятор будет поддерживать постоянную величину нагрузки соединительной линии, во втором же случае — постоянную частоту. Переключение регулятора для работы на постоянную нагрузку или на постоянную частоту производится при помощи переключателя U .

д) Комбинированный регулятор нагрузки, регулирующий машину на мгновенные толчки нагрузки и одновременно поддерживающий среднюю нагрузку ее постоянной. В заключение рассмотрим схему регулятора нагрузки, регулирующего машину по мгновенным толчкам нагрузки на соединительной линии и одновременно поддерживающего среднюю нагрузку этой машины на постоянной величине. Установка такого регулятора бывает необходима в сетях с сильно колеблющейся нагрузкой в тех случаях, когда колебания нагрузки покрываются специально выделенными для этого машинами. Схема регулятора подобного типа изображена на фиг. 256. Этот регулятор в конструктивном отношении несколько отличается от обычных регуляторов. Для того чтобы иметь возможность регулировать очень быстрые толчки нагрузки, перестанавливающий моторчик 5 воздействует непосредственно на сервомотор скоростного регулятора при помощи дополнительного рычага 7. На реле R_1 , управляющее моторчиком 5, воздействуют, с одной стороны, токи i_a и i_f , даваемые измерителем нагрузки соединительной линии и измерителем частоты, а с другой стороны, токи i_h и i_z . Моторчик 6, устанавливающий при помощи потенциометра величину тока i_z , питается с одной стороны от потенциометра P_3 , а с другой стороны от потенциометра P_h . Потенциометр P_3 переставляется или от руки или автоматически от регулятора графика нагрузки и служит для установки предписанной нагрузки машины. Если положение потенциометра P_h одинаково с положением потенциометра P_3 , т. е. если нагрузка машины равна предписанной величине, то моторчик 6 оказывается с обеих сторон приключенным к одному и тому же потенциалу и остается в покое. Если нагрузка машины отклонится от предписанной величины, то одновременно с этим изменится положение потенциометра P_h . Моторчик 6 придет при этом в действие и будет переставлять потенциометр P_z до тех пор, пока величина нагрузки регулируемой машины снова не станет равна предписанной величине. Перестановочная скорость моторчика 6 выбрана по величине значительно меньшей, чем перестановочная скорость моторчика 5. Поэтому мгновенные толчки нагрузки соединительной линии воспринимаются машиной, несмотря на наличие установленной

предписанной нагрузки. Последняя вследствие более медленного действия моторчика 6 поддерживается на определенной величине в среднем за некоторый конечный промежуток времени вне зависимости от нагрузки соединительной линии.

Иллюстрацией действия описанного регулятора могут служить ленты регистрирующих приборов, изображенные на фиг. 257. Эти ленты сняты с регистрирующих приборов, измеряющих нагрузку



Фиг. 256. Комбинированный регулятор, покрывающий мгновенные толчки и поддерживающий среднюю нагрузку.

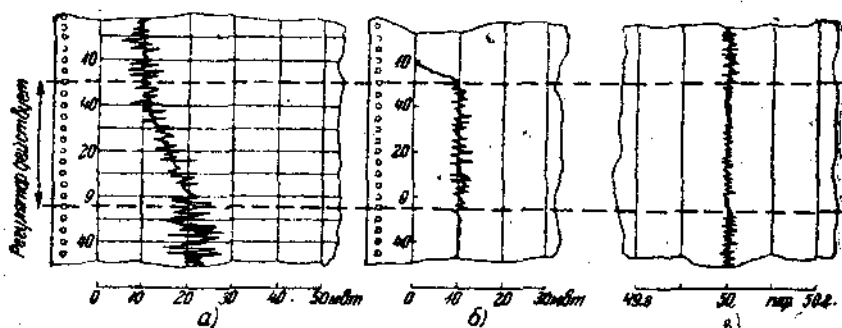
1 — центробежный регулятор; 2 — золотник; 3 — сервомотор; 4 — паровпускной вентиль; 5 — перестановочный моторчик регулятора; 6 — перестановочный моторчик потенциометра; 7 — дополнительный рычаг; P_A — потенциометр, связанный с переставляющим штоком регулятора; P_B — потенциометр поправки; P_C — потенциометр предписанной нагрузки; U — измеритель нагрузки соединительной линии; F — измеритель частоты; R_1 — дифференциальное реле регулятора; R_2 — дифференциальное реле отклонения частоты; R_3, R_4 — реле пассивного регулирования частоты; U — переключатель.

соединительной линии между сетью Bewag и сетью восточной группы берлинских железных дорог, нагрузку станции Вест и частоту сети.

Берлинские железные дороги, питающиеся от станции Клингенберг в сети Bewag через пучок кабелей, имеют беспокойную нагрузку и дают резкие толчки, вызываемые работой электропоездов. Задача покрытия этих толчков нагрузки возложена на станцию Вест, расположенную на расстоянии около 30 km от места присоединения кабелей, питающих железную дорогу. Эта станция по условиям эксплуатации, покрывая пики нагрузки от ж. д., должна в то же время нести нагрузку по определенному графику независимо от нагрузки кабелей, питающих ж. д. Для осуществления этого регулирования на станции Вест установлен регулятор нагрузки описанного выше типа. Нагрузка

соединительных кабелей, питающих сеть ж. д., измеряется, суммируется и передается на станцию Вест при помощи компенсационной системы телеизмерения вибрационного типа фирмы АЕГ.

Ленты регистрирующих приборов, изображенные на фиг. 257, показывают, что все мгновенные толчки нагрузки кабелей, питающих ж. д., полностью воспринимаются станцией Вест. В то же время постепенное снижение нагрузки, имевшее место на этих кабелях в течение промежутка времени от 9 до 10 час., никакого влияния на нагрузку станции Вест не оказало, и эта станция продолжала везти предписанную ей среднюю нагрузку без всяких отклонений.



Фиг. 257. Регулирование нагрузки и частоты берлинских железных дорог.

а — нагрузка соединительных линий между сетью Беваг и сетью восточной группы берлинских железных дорог; б — нагрузка машин станции Вест; в — частота.

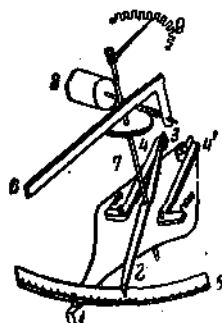
Описанный выше регулятор помимо регулирования нагрузки осуществляет одновременно и регулирование частоты. Последнее осуществляется, так же как и в комбинированном регуляторе частоты и нагрузки обычного типа, путем направления в обмотку реле R_1 помимо тока i_a еще и тока i_f . Помимо этого способа регулирования частоты, являющегося активным способом, в схеме фиг. 256 предусмотрена еще возможность пассивного регулирования. Переход на пассивное регулирование частоты осуществляется при помощи перевода вверх переключателя U . В верхнем положении этот переключатель включает реле R_2 , которое при отклонении частоты от нормальной величины получает ток от измерителя частоты F . В зависимости от полярности этого тока реле R_2 производит включение реле R_3 или R_4 .

Последние при своем действии прерывают ток контактов реле R_1 , отключая цепь вращения моторчика 5 в ту или другую сторону.

Как можно видеть из диаграммы частоты, приведенной на фиг. 257, включение регулятора значительно сокращает ширину кривой записи частоты и уменьшает колебания последней.

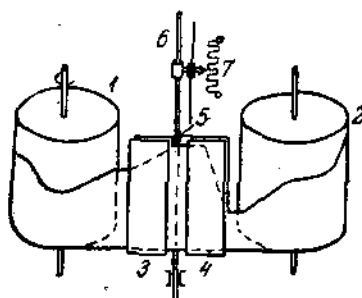
е) Регуляторы предписанной нагрузки. Фирма АЕГ применяет три типа регуляторов предписанной нагрузки: неавтоматические, полуавтоматические и автоматические. Неавтоматический регулятор представляет собой сопротивление, переставляемое от руки. Сопротивление снабжено указателем, который передвигается по шкале,

проградуированной в киловаттах и указывающей величину установленной предписанной нагрузки. Полуавтоматический регулятор имеет шкалу с двумя стрелками и кнопку с установкой времени. Этот регулятор осуществляет автоматически прямолинейное изменение предписанной величины в определенных пределах с заданной скоростью. Верхняя стрелка шкалы служит для указания существующей предписанной величины. При помощи нижней стрелки устанавливается новая желаемая величина, а кнопка служит для установки скорости изменения предписанной величины и устанавливает эту скорость по шкале, проградуированной в kW/min .



Фиг. 258. Полуавтоматический регулятор предписанной нагрузки фирмы АЕГ.

1 — стрелка желаемой нагрузки; 2 — стрелка существующей нагрузки; 3 — контакт на стрелке 2; 4 и 4' — контакты на стрелке 1; 5 — шкала; 6 — освобождающий рычаг; 7 — ось; 8 — моторчик; 9 — сопротивление, устанавливающее предписанную величину.



Фиг. 259. Автоматический регулятор предписанной нагрузки фирмы АЕГ.

Конструктивная схема полуавтоматического регулятора изображена на фиг. 258. Нижняя стрелка 1, переставляемая от руки и служащая для установки желаемой величины, соединена с планкой, которая несет на себе контакты 4 и 4'. Верхняя стрелка 2, указывающая существующую предписанную величину, приводится в движение при помощи моторчика 8. Скорость движения этого моторчика, а вместе с тем и скорость перестановки стрелки 2, регулируется при помощи сопротивления, соединенного с кнопкой установки времени (на схеме не показано). При перемещении стрелки 1 в ту или другую сторону один из ее контактов 4 или 4' приходит в соприкосновение с контактом 3 и включает в том или ином направлении моторчик 8. Последний с заданной скоростью переставляет стрелку 2, на оси 7 которой сидит движок реостата 9, устанавливающего значение предписанной величины. Эта перестановка осуществляется до тех пор, пока стрелка 2 не займет такое же положение, как и стрелка 1, и контакт 3 ее не станет между контактами 4 и 4'. Цепь моторчика 8 при этом окажется разомкнутой, и он остановится.

Перемещение стрелки 2 можно сделать и независимым от установки времени. Для этого служит рычаг 6, который при нажатии на него разь-

единяет ось 7 с передачей от моторчика 8. При этом стрелка 2 освобождается и под действием пружин, имеющих на концах контактных рычагов, несущих контакты 4 и 4', устанавливается в положение, одинаковое с положением стрелки 1.

Схема автоматического регулятора предписанной нагрузки изображена на фиг. 259. Этот регулятор позволяет изменять нагрузку любым желаемым образом и состоит из двух барабанов 1 и 2, на которые намотана лента из плотного материала, вырезанная по форме графика предписанной нагрузки. При вращении барабанов эта лента, сматываясь с одного из них и наматываясь на другой, проходит между направляющими пластинками 3 и 4 и верхним своим краем перемещает в вертикальном направлении ролик 5. Последний связан с штангой 6, несущей движок, который регулирует величину сопротивления 7, устанавливающего предписанную нагрузку.

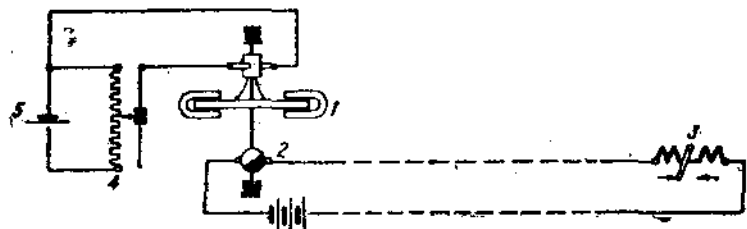
ж) **Конструктивное выполнение регулятора.** Как можно было видеть из описания различных схем универсального регулятора АЕГ, этот регулятор состоит из ряда составных частей, которые в зависимости от схемы включаются в различных комбинациях. При помощи простых переключателей можно изменять схему регулятора, превращая его из регулятора одного типа в регулятор другого типа. Примеры такого превращения были даны при описании двух последних схем регулятора. Это свойство представляет большое удобство в эксплуатации, позволяя легко переходить при изменении эксплуатационной схемы сети с одного вида регулирования на другой.

59. Универсальный регулятор фирмы Сименс

В универсальном регуляторе фирмы Сименс измерение действительной и предписанной величин происходит при помощи импульсно-частотных устройств телеизмерения. Сравнение этих величин происходит в специальном аппарате, в котором сравниваются скорости вращения двух осей, из которых одна имеет число оборотов, пропорциональное фактической величине, а другая — пропорциональное предписанной. Применение импульсно-частотного метода телеизмерения и метода сравнения скоростей является в отношении конструкции регулятора и его универсальности менее благоприятным, чем метода постоянного тока. Однако этот метод имеет то преимущество, что он позволяет производить передачу существующей величины нагрузки и сравнение ее с предписанной величиной с абсолютной точностью. При этом телеизмерение фактической величины может производиться практически на какое угодно большое расстояние вне зависимости от величины утечек и изменения сопротивлений линий связи, в то время как при использовании методов постоянного тока (компенсационных) расстояние передачи ограничивается величиной токов утечки. Измерение фактической нагрузки как в случае телерегулирования, так и для ближнего регулирования производится аналогично устройствам импульсно-частотного телеизмерения при помощи счетчиков, снабженных прерывателями (стр. 120). Измерение предписанной нагрузки производится при помощи счетчика постоянного тока, снабженного

прерывателем и питающегося от стабилизированного источника постоянного тока. Питание счетчика происходит через потенциометр, передвигая рукоятку которого от руки или автоматически от регулятора предписанной нагрузки, можно изменять число оборотов счетчика и изменять таким образом величину предписанной нагрузки (фиг. 260).

Измерение частоты производится также при помощи счетчика с прерывателем. В этом случае применяются счетчики переменного тока, у которых в цепи одной катушки помещено сопротивление, а в цепи другой — катушка самоиндукции. Магнитные потоки обеих катушек направлены друг против друга. Сила тока в первой катушке будет мало зависеть от частоты. Сила тока во второй катушке будет, наоборот, сильно зависеть от частоты. Так как катушки счетчика действуют друг против друга, то при соответствующем подборе постоянных



Фиг. 260. Измерение предписанной величины.

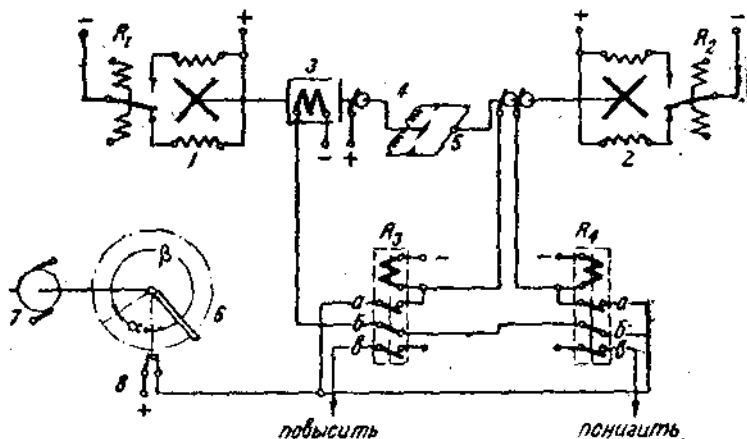
1 — счетчик постоянного тока; 2 — прерыватель; 3 — приемное реле; 4 — потенциометр; 5 — стабилизированный источник постоянного тока.

цепей число оборотов счетчика будет очень сильно изменяться с изменением частоты. В счетчике, применяемом фирмой Сименс, пределы этого изменения выбраны такими, что при снижении частоты на 2 Hz счетчик перестает работать совсем, при повышении же частоты на 2 Hz дает максимальное количество импульсов (обычно 6 импульсов в секунду). Благодаря этому небольшие изменения частоты вызывают большое изменение числа импульсов. Это дает значительные преимущества по сравнению с обычно применяемым методом измерения частоты при помощи синхронного моторчика, который при практических колебаниях частоты изменяет числа оборотов незначительно.

Преобразование числа импульсов в скорость вращения осуществляется в универсальном регуляторе фирмы Сименс при помощи импульсных моторчиков, одинаковых по своему принципу действия с моторчиками, применяющимися в импульсно-компенсационных системах телеизмерения (см. стр. 135).

Схема универсального регулятора фирмы Сименс изображена на фиг. 261. Приемные реле R_1 и R_2 при получении импульсов от импульсно-частотных передатчиков переключают свои контакты и, давая поочередно ток в обмотки импульсных моторчиков 1 и 2, заставляют их вращаться. На оси моторчика 1 помещается контактный рычаг 4, который соединяется с осью при помощи электромагнитной муфты 3. На оси моторчика 2 помещается контактная вилка 5, которая охваты-

вае контактный рычаг 4. На контактной вилке имеются пружины, которые стараются оттянуть контактный рычаг 4 в среднее положение между контактами вилки. При одинаковой скорости моторчиков 1 и 2 рычаг 4 будет все время находиться посередине между контактами вилки 5, и регулирования происходить не будет. Если скорости вращения моторчиков 1 и 2 не будут равными, то по истечении некоторого промежутка времени рычаг 4 соприкоснется с одним из контактов контактной вилки 5 и замкнет цепь одного из исполнительных реле R_3 или R_4 . Это реле, переключив свои контакты, заблокирует себя кон-

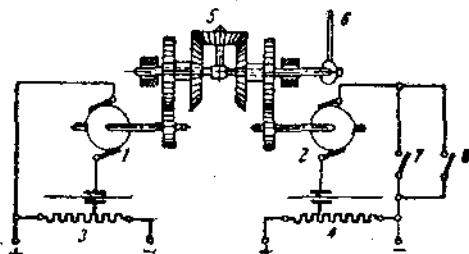


Фиг. 261. Схема универсального регулятора фирмы Сименс.

1 и 2 — импульсные моторчики; 3 — электромагнитная муфта; 4 — контактный рычаг; 5 — контактная вилка; 6 — рычаг времени; 7 — вспомогательный моторчик; 8 — контакт, разрывающий блокирующие цепи; R_1 и R_2 — приемные реле; R_3 и R_4 — исполнительные реле.

тактом а во включенном положении, контактом б разорвет цепь электромагнитной муфты, а контактом в включит в направлении «повысить» или «понижить» переставляющий моторчик турбины. При выключении муфты 3 она отсоединит контактный рычаг 4 от оси моторчика 1, после чего рычаг под влиянием контактной вилки встанет в среднее положение между ее контактами. Реле R_3 или R_4 будет оставаться в замкнутом положении и воздействовать на переставляющий моторчик регулятора турбины до тех пор, пока цепь блокировки его не будет разомкнута рычагом 6, который, проходя в своем вертикальном положении мимо контакта 8, замыкающего блокирующие цепи реле R_3 и R_4 , кратковременно размыкает их. При выключении реле R_3 и R_4 они снова замыкают цепь электромагнитной муфты, последняя снова соединяет рычаг 4 с осью моторчика 1, и процесс регулирования начинается вновь. Для того чтобы предотвратить действие регулятора при очень малых отклонениях фактической величины от предписанной, цепь регулирующей муфты заведена через контакт 8 и периодически разрывается при прохождении рычага 6 через свое вертикальное положение.

Продолжительность регулирующего импульса в универсальном регуляторе фирмы Сименс получается пропорциональной отклонению фактической величины от предписанной. Для того чтобы уяснить это, рассмотрим процесс регулирования, начиная с момента, когда рычаг 6 находится в вертикальном положении и контакт 8 разомкнут. В этот момент происходит деблокировка реле R_3 или R_4 и включение электромагнитной муфты. Контактный рычаг 4, оттянутый пружинами вилки, находится в среднем положении между ее контактами. Если число оборотов моторчиков 1 и 2 различно, то контактный рычаг 4 будет приближаться к одному из контактов вилки со скоростью, равной разности скоростей вращения моторчиков 1 и 2. Так как расстояние, которое нужно пройти контактному рычагу, всегда одинаково и равно половине расстояния между контактами вилки, то время, через которое контактный рычаг соприкоснется с одним из контактов, будет обратно пропорционально отклонению фактической величины от предписанной. Предположим, что за это время рычаг 6, вращающийся от моторчика 7 с постоянной скоростью, пройдет угол α . Этот угол характеризует начало регулирующего импульса, так как в момент соприкосновения рычага 4 с одним из контактов вилки будет включено,



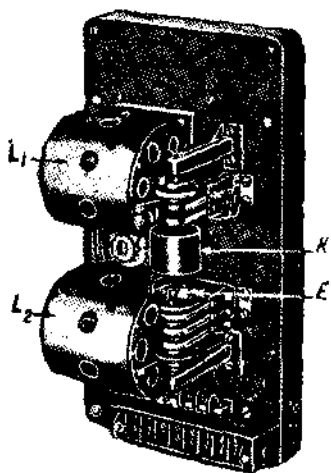
Фиг. 262. Схема привода рычага времени.

1 — постоянно вращающийся моторчик; 2 — моторчик, включающийся во время послышки регулирующего импульса; 3 — потенциометр для установки чувствительности регулятора; 4 — потенциометр для установки продолжительности импульса регулирования; 5 — дифференциал; 6 — рычаг времени; 7 и 8 — контакты исполнительных реле.

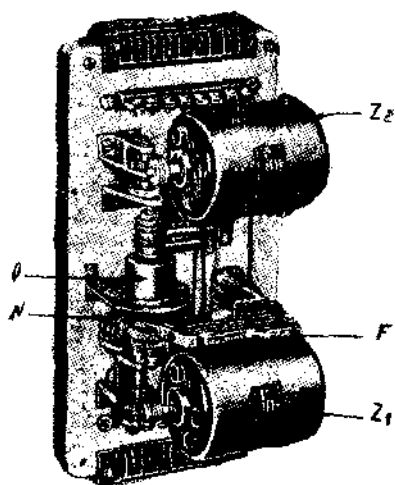
как уже говорилось выше, одно из исполнительных реле R_3 или R_4 . Регулирующий импульс будет продолжаться до тех пор, пока рычаг 6, сделав полный оборот, не деблокирует реле R_3 или R_4 , разомкнув контакт 8. Это время будет характеризоваться углом β . Последний будет тем больше, чем меньше угол α , т. е. тем больше, чем больше отклонение фактической величины от предписанной.

Чувствительность регулятора зависит от скорости вращения рычага 6. Чем скорее вращается рычаг 6, тем чаще будет прерываться цепь электромагнитной муфты 3 и тем больше должна быть разность скоростей вращения моторчиков 1 и 2, для того чтобы за время одного оборота рычага 6 контактный рычаг 4 успел соприкоснуться с одним из контактов вилки 5. Чувствительность регулятора можно, таким образом, изменять, регулируя число оборотов моторчика 7, приводящего в движение рычаг 6. Это осуществляется при помощи перемещения движка потенциометра, от которого питается моторчик 7. Так как скорость движения рычага 6 устанавливается в зависимости от требуемой чувствительности регулятора, то одновременно с этим будет устанавливаться и продолжительность регулирующего импульса (угол β). Эту величину желательно, однако, устанавливать независимо от чувствительности регулятора, изменяя ее в зависимости от ско-

рости вращения переставляющего моторчика регулируемой машины. Это осуществляется тем, что рычаг δ приводится в движение от двух моторчиков, действующих на него через дифференциальную передачу (фиг. 262). Моторчик 1 вращается постоянно и определяет скорость вращения рычага δ во время прохождения им угла α . Моторчик 2 включается от исполнительных реле одновременно с посылкой импульса. Скорость вращения этого моторчика складывается при помощи дифференциала 5 со скоростью вращения моторчика 1. Регулируя скорость и направление вращения моторчика 2, можно, таким образом,



Фиг. 263. Сравнивающее устройство.



Фиг. 264. Привод рычага времени.

изменять скорость движения рычага δ во время прохождения им угла β в любых пределах.

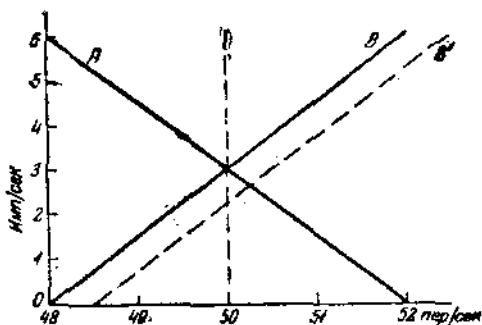
Сравнивающее устройство и устройство для движения рычага времени выполняются конструктивно отдельно друг от друга. Внешний вид их изображен на фиг. 263 и 264.

Перейдем к рассмотрению различных схем включения регулятора.

а) Регулирование мощности. Регулирование мощности как в случае ближнего регулирования, так и в случае дальнего осуществляется при помощи обычных импульсно-частотных передатчиков для мощности. В случае ближнего регулирования импульсы передаются к одному из импульсных моторчиков передатчика непосредственно. В случае телерегулирования передача импульсов осуществляется через линию связи. Предписанная величина измеряется, как уже указывалось выше, счетчиком постоянного тока, причем импульсы от этого счетчика передаются на второй импульсный моторчик регулятора.

б) Регулирование частоты. В случае регулирования мгновенной частоты импульсы на оба импульсных моторчика сравнивающего устройства регулятора передаются от двух счетчиков, измеряющих частоту. Включение этих счетчиков выполняется таким образом,

что один из них имеет характеристику, наклоненную в одну сторону, а другой — характеристику, наклоненную в другую сторону, причем пересечение этих характеристик происходит в точке, соответствующей нормальной частоте (фиг. 265). При нормальной частоте оба счетчика будут поэтому давать на сравнивающее устройство одинаковое число импульсов, и никакого регулирования происходить не будет. При повышении или понижении частоты один из счетчиков увеличит, а другой уменьшит число импульсов, и регулятор придет в действие.

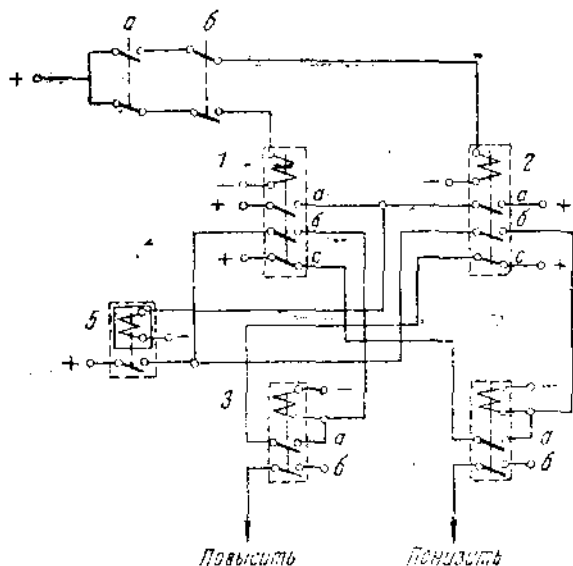


Фиг. 265. Характеристики измерителей частоты.

в) Интегральное регулирование частоты.

Интегральное регулирование частоты применяется в универсальном регуляторе фирмы Сименс только как дополнительное, само же регулирование частоты производится

по мгновенному ее значению, как это было описано выше. Дополнительное регулирование осуществляется путем внесения поправки в показания одного из счетчиков, измеряющих частоту в зависимости от интегрального отклонения частоты по времени. Внесение этой поправки производится путем изменения величины сопротивления, находящегося в цепи одной из катушек счетчика, и изменения таким путем характеристики счетчика, которая при этом перемещается параллельно себе, как это показано на фиг. 265.



Фиг. 266. Схема реле для введения интегральной поправки.

1 и 2 — регулирующие реле; 3 и 4 — исполнительные реле; 5 — реле времени; а и б — контакты контрольных часов.

Для внесения поправки служат контрольные часы с двумя стрелками. Угол расхождения этих стрелок указывает величину интеграль-

ной ошибки и знак ее. Полное время оборота каждой стрелки составляет 4 мин. При прохождении нулевого положения каждая из стрелок переключает контактное приспособление, воздействующее на релейную цепь, состоящую из пяти реле, соединенных по схеме фиг. 266. Контакты, связанные со стрелками контрольных часов, соединены по схеме, подобной применяемой при время-импульсном регулировании. Эти контакты воздействуют на реле 1 и 2 таким образом, что при отставании синхронного времени замыкается цепь реле 1, а при опережении синхронного времени замыкается цепь реле 2. Цепи этих реле включаются каждые 4 мин. на время, пропорциональное величине расхождения стрелок контрольных часов. Величина этого расхождения контролируется при помощи реле времени 5, цепь которого замыкается контактами *a* реле 1 или 2. Если время включения реле 1 или 2 меньше, чем время, на которое установлено реле 5, то никакого регулирующего действия не происходит. Если реле 5 успеет подействовать за время включения реле 1 или 2, то через его контакты и контакты *b* реле 1 или 2 замыкается цепь одного из исполнительных реле 3 или 4. Эти реле при своем включении блокируют себя во включенном состоянии через свои контакты *a*, а контактами *b* замыкают цепь вспомогательного моторчика, изменяющего сопротивление в цепи одного из счетчиков частоты. Реле 3 или 4 остаются включенными, пока отклонение в частоте не будет устранено и не начнет приобретать противоположный знак. При этом на короткое время снова включится одно из реле 1 или 2, противоположное тому, которое включилось перед этим, и своим контактом *c* разорвет блокирующую цепь реле 3 или 4, прекратив регулирующий импульс.

ЧАСТЬ ПЯТАЯ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

ГЛАВА XIV

ОБОРУДОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРСКИХ ПУНКТОВ

60. Общая характеристика оборудования диспетчерских пунктов

Диспетчерским пунктом называется помещение, из которого дежурный диспетчер и его помощник осуществляют оперативное руководство работой энергосистемы. Как указывалось в первой части настоящей книги, работа диспетчера большой энергосистемы весьма сложна, а количество возлагаемых на него обязанностей достаточно велико. Уже при средних размерах энергосистемы эффективность работы диспетчера может быть значительно повышена при наличии в диспетчерском пункте специального вспомогательного оборудования и телемеханизации диспетчерского управления. В большинстве случаев отдельные виды диспетчерского оборудования совершенно необходимы для удовлетворительной работы диспетчера. Диспетчерский пункт превращается в сложную в техническом отношении установку, все части которой должны быть тесно увязаны друг с другом. Проектирование такой установки обладает рядом особенностей, резко отличающих его от проектирования обычных дежурных пунктов в электрических установках (щитов управления).

Основным назначением помещения диспетчерского пункта и его оборудования являются:

- а) обеспечение дежурящему в нем персоналу максимальных удобств во время работы;
- б) возможно более полное и быстрое осведомление этого персонала о всем происходящем в обслуживаемой им энергосистеме;
- в) обеспечение возможно, более быстрой передачи на контролируемые установки распоряжений или непосредственного управления ими;
- г) наиболее полная и наглядная сигнализация исправного состояния телемеханической аппаратуры, имеющейся в диспетчерском пункте, и готовность этой аппаратуры к действию.

Основной особенностью, отличающей диспетчерский пункт энергосистемы от обычных пунктов управления электрических установок, является большое количество контролируемых в нем территориально разбросанных установок. Это делает работу диспетчера напряженной и заставляет предъявлять к оборудованию диспетчерских пунктов повышенные требования в отношении наглядности его работы, надеж-

ности посылки и приема сигналов и распоряжений и возможности проверки диспетчером его собственных действий. Так как работа диспетчера так же оперативна, как и работа персонала, дежурящего на щитах управления электрических установок, то оборудование диспетчерского пункта должно быть так же надежно и просто, как оборудование щитов управления. Манипуляции, которые требует это оборудование от диспетчера, должны быть несложны и минимальны по количеству. Все органы (ключи, кнопки и т. п.), на которые диспетчеру приходится воздействовать во время его работы, должны быть расположены в непосредственной близости от него. Желательно при этом, чтобы диспетчер мог воздействовать на них, не вставая с места. Сигналы и приборы должны быть расположены так, чтобы диспетчер мог без затруднений наблюдать их.

Последние два требования легко выполнимы в диспетчерских пунктах небольших энергосистем, в больших же, а зачастую и в средних по размерам энергосистемах выполнение их представляет значительные трудности вследствие большого количества сигналов и измерительных приборов, которые приходится размещать в диспетчерском пункте. Как будет показано в дальнейшем, в этом случае в отношении сигнализации и измерений приходится ограничиваться самым необходимым, размещая все остальное вне пределов непосредственного контроля диспетчера. Такое разделение сигналов и измерений следует производить и тогда, когда для расположения их в непосредственной близости от диспетчера имеется место, с тем чтобы не рассеивать внимание диспетчера и сосредоточивать его на наиболее важных объектах. С этой же целью в помещении, где происходит дежурство диспетчеров, оставляется обычно только аппаратура, воспроизводящая сигналы или измерения. Вся же передающая и принимающая аппаратура, особенно в тех случаях, когда она производит шум, выносится в особое помещение, носящее название аппаратного помещения. Помимо двух основных помещений, дежурного и аппаратного, в диспетчерском пункте обычно выделяется отдельное помещение для источников тока и устраивается ряд вспомогательных помещений служебного характера (уборные, умывальные, комнаты отдыха, курьерская и т. д.).

При проектировании диспетчерского пункта особое внимание должно уделяться оборудованию и отделке дежурного помещения. Вследствие большой напряженности работы диспетчера он должен быть поставлен в особо благоприятные внешние условия. Здесь играет роль окраска оборудования и самого помещения, изоляция помещения от шума, рациональное проектирование освещения и сигнальных устройств и т. п.

Основным оборудованием диспетчерского пункта помимо различных телемеханических устройств являются: диспетчерский щит с мнемонической схемой, диспетчерский пульт и аппаратура связи. Помимо этого основного оборудования в диспетчерском пункте устанавливается обычно ряд вспомогательных аппаратов, как, например, аппараты для записи телефонных разговоров диспетчера, телепишущие машинки, различная аварийная сигнализация, сигнализация состояния телемеханической аппаратуры и т. п.

Основной задачей при проектировании диспетчерского пункта является выбор конструкции диспетчерского щита и диспетчерского пульта и размещение аппаратуры на них. Рассмотрению этих вопросов и посвящены последующие разделы. Рассмотрение аппаратуры связи не входит в задачу настоящей книги, и в дальнейшем вопросы связи будут затрагиваться лишь постольку, поскольку это будет необходимо при рассмотрении вопросов выбора телемеханической аппаратуры.

Следует указать, что централизация оперативного управления энергосистемами, практикующаяся в СССР, в отношении ее масштабов, самой формы управления и возможности насыщения ее средствами телемеханики не имеет себе подобных за границей и может быть сравнена лишь с наиболее крупными американскими энергосистемами. Примеры западноевропейских и американских диспетчерских пунктов могут быть использованы лишь частично, поскольку они в большинстве случаев обслуживают только части энергосистем, принадлежащие отдельным компаниям, и не представляют собой комплексного разрешения задачи телемеханизированного управления энергосистемой.

61. Мнемоническая схема диспетчерского щита

Основным назначением диспетчерского щита является сигнализация диспетчеру состояния схемы контролируемой им сети и входящих в нее электрических установок. Для этого служит мнемоническая схема, выполняемая на щите и представляющая собой обычно однолинейную схему сети и установок. На этой схеме условными символами показано основное оборудование и коммутационные устройства, а особыми сигналами, получаемыми от телемеханической аппаратуры (или от руки диспетчера), воспроизводится положение коммутационных устройств.

Мнемоническая схема должна давать ясное и наглядное отражение действительного положения коммутационных устройств и электрического состояния всех частей схемы. Выше при рассмотрении схем посылки и исполнения в устройствах телеуправления были учтены требования, обеспечивающие надежный прием и посылку сигналов. Поэтому ниже рассматриваются только вопросы воспроизведения сигналов на диспетчерском щите.

Прежде всего нужно разделить сигнализацию положения коммутационной аппаратуры и сигнализацию электрического состояния схемы.

Задача сигнализации положения коммутационной аппаратуры сводится к воспроизведению на диспетчерском щите включенного или выключенного состояния соответствующего аппарата. Такая сигнализация является минимально необходимой для нормальной работы диспетчера, так как дает ему представление об электрическом состоянии схемы. Однако в ряде случаев эта сигнализация не является достаточной, так как, для того чтобы по положению коммутационной аппаратуры диспетчер мог судить об электрическом состоянии схемы, например, о наличии или отсутствии напряжения на той или иной части ее, он должен мысленно проследить по схеме все возможные пути

для получения напряжения в данной точке. Этот процесс при сложной конфигурации сети замедляет работу диспетчера, а в некоторых случаях может привести и к ошибкам. Поэтому в ряде случаев к мнемонической схеме предъявляют требование, чтобы она не только сигнализировала положение коммутационной аппаратуры, но и воспроизводила бы электрическое состояние схемы, сигнализируя тем или иным путем состояние отдельных частей ее под напряжением или под током или без напряжения и тока.

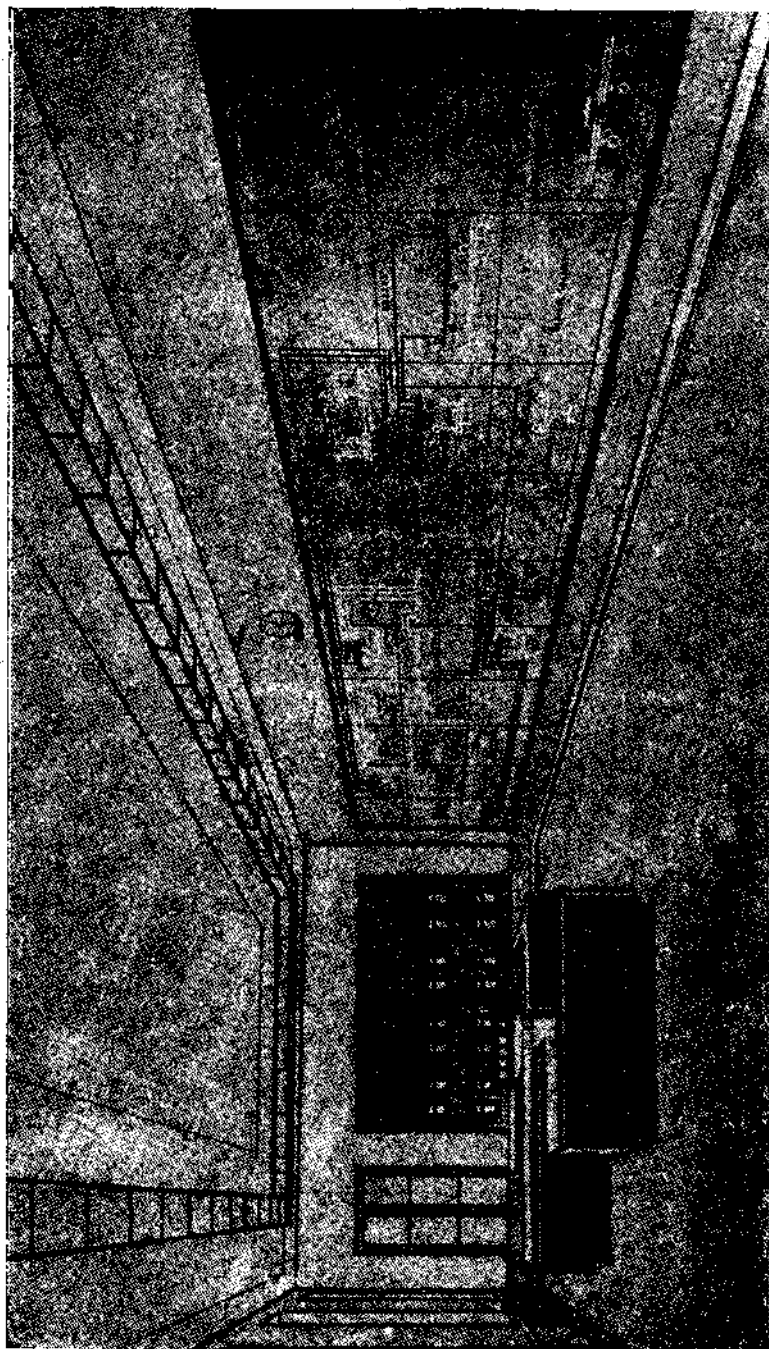
Практикуется три способа выполнения мнемонической схемы:

- а) с указанием всех соединений как внутри отдельных электрических установок, так и между ними;
- б) с указанием электрических соединений только внутри электрических установок без указания соединительных линий между ними;
- в) без указания соединений как внутри электрических установок, так и между ними.

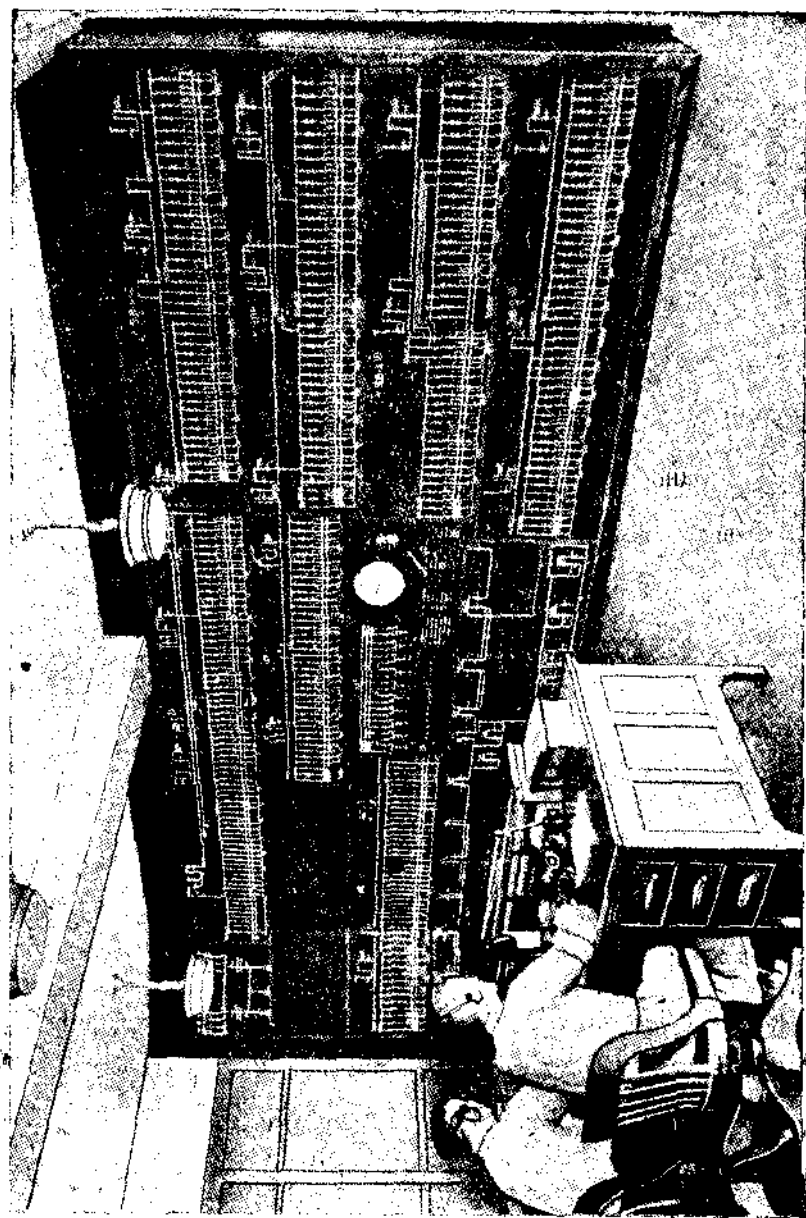
В первом способе диспетчерский щит представляет собой однолинейную схему контролируемой диспетчером сети с указанием всех соединений. Пример такой схемы показан на фиг. 267 (проект нового диспетчерского пункта). Этот вид мнемонической схемы наиболее нагляден. Однако в сетях с большим числом соединений между отдельными установками и сложной коммутацией этих соединений (например, в разветвленных кабельных сетях) эта наглядность теряется ввиду трудности достаточно ясного расположения многочисленных соединений на диспетчерском щите. В этом случае целесообразно отказаться от изображения на щите соединений между установками и показывать только соединение внутри этих установок.

Пример такого выполнения мнемонической схемы дан на фиг. 268. Здесь отдельные электрические установки изображаются на схеме вне всякой связи друг с другом. Электрические соединения показаны только внутри каждой установки. Соединения между установками или изображаются на отдельной упрощенной схеме или указываются специальной нумерацией отходящих от электрических установок линий. Нумерация выполняется таким образом, что номер, присвоенный данному коммутационному аппарату, например, масляному выключателю, указывает одновременно установку, на которой он поставлен, и установку, к которой ведет включаемая им линия. Такую нумерацию можно, например, получить, присвоив каждой установке определенный номер и составляя номер масляного выключателя из двух частей: первой, содержащей номер установки, на которой масляный выключатель поставлен, и второй, содержащей номер установки, к которой ведет линия, включаемая этим масляным выключателем.

Определенная нумерация элементов схемы должна быть и в схемах, имеющих соединение между отдельными установками. Эта нумерация совместно с условными названиями отдельных элементов схемы является обязательной при сношениях диспетчера с дежурным персоналом станций и подстанций, необходимых для правильного понимания диспетчером сообщений дежурного персонала и правильного понимания последним распоряжений диспетчера (подробнее о маркировке диспетчерской схемы см. ниже).



Фиг. 267. Общий вид диспетчерского пункта.



Фиг. 268. Мнемоническая схема

Третий способ выполнения диспетчерского щита — выполнение, при котором мнемоническая схема по существу отсутствует, и щит содержит только индикаторы, сигнализирующие положение коммутационной аппаратуры, расположенные в том или ином порядке и снабженные соответствующими надписями и нумерацией.

Выбор того или иного способа выполнения мнемонической схемы зависит от местных условий, характера контролируемой диспетчером сети и вкуса проектирующего. Несомненно, что мнемоническая схема с указанием всех соединений является более совершенной, и для диспетчерских пунктов больших энергосистем следует применять именно этот способ выполнения схемы. Для менее ответственных систем с большим количеством соединений между отдельными установками можно применять второй способ выполнения схемы. Такое выполнение может, например, оказаться целесообразным в диспетчерских пунктах больших кабельных сетей, энергокомбинатах, в энергетических диспетчерских пунктах больших заводов и т. п. Третий способ выполнения схемы является наименее совершенным и вряд ли может быть рекомендован для сколько-нибудь развитых диспетчерских пунктов. Он был применен в одном из диспетчерских пунктов нью-йоркской системы, причем при выборе его авторы проекта и сама компания базировались на том соображении, что диспетчер настолько хорошо должен знать схему обслуживаемой им сети, что ему не нужно постоянно иметь ее перед глазами.

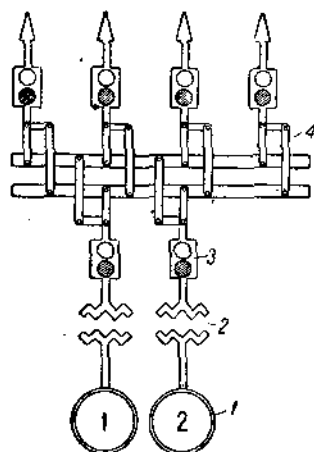
При выполнении мнемонической схемы следует добиваться ее наибольшей простоты и, в частности, избегать пересечений линий, значительно уменьшающих наглядность схемы. На схеме следует оставлять только самое необходимое, стараясь расположить отдельные элементы схемы и отдельные установки с достаточными интервалами, чтобы отделить их пространственно друг от друга. В частности, не следует изображать на схеме концевых распределительных линий, идущих к абонентам, и показывать фидеры низшего напряжения, находящиеся в ведении дежурного персонала установок и дежурных местных районов. В крайнем случае можно изобразить местную нагрузку одним или двумя фидерами, с тем чтобы можно было показывать, к каким шинам эта нагрузка приключена.

Такую же экономию рекомендуется проводить и в отношении указания фидеров собственных нужд станций.

Электропередачи, соединяющие отдельные установки, изображают обычно в виде горизонтальных и вертикальных линий, изгибаемых под прямым углом. Этот способ дает, однако, несколько однообразное начертание мнемонической схемы, и в некоторых случаях бывает полезно для выделения конфигурации отдельных участков сети располагать соединительные линии под углом. Для этой же цели прибегают к различной окраске линий разного напряжения или делают их различной толщины.

Очень часто при проектировании мнемонической схемы стремятся сохранить на ней географическое расположение электрических установок. Вообще говоря, это полезно; однако располагать схемы установок на диспетчерском щите, придерживаясь их географического

расположения, следует лишь тогда, когда это не нарушает простоты построения схемы и ее наглядности. Мнемоническая схема содержит обычно такое большое количество различных условностей, что условное расположение установок, если оно приводит к упрощению схемы и увеличению ее наглядности, следует применять без всяких колебаний. Единственное, что необходимо соблюдать, — это географически правильное пересечение линий более низкого напряжения линиями более высокого напряжения, так как знание мест пересечений может понадобиться диспетчеру при его работе.



Фиг. 269. Изображение элементов в мнемонической схеме
1 — генератор; 2 — трансформатор; 3 — масляный выключатель; 4 — разъединитель.

В отношении начертания символов для обозначения аппаратуры в мнемонических схемах, так же как и в отношении самой мнемонической схемы, нет еще установленных стандартов.

Выбор того или иного начертания символа зависит от способа применяемой сигнализации, конструкции и типа щита, наличия достаточного места на нем и т. п. Немалую роль играет также и вкус проектирующего.

Масляные выключатели и разъединители изображают обычно или в виде прямоугольников или в виде кругов, внутри которых помещаются индикаторы, сигнализирующие их положение. Для того чтобы отличить масляные выключатели от разъединителей, их делают или различного размера или же выбирают для них символы различного вида (см. фиг. 270).

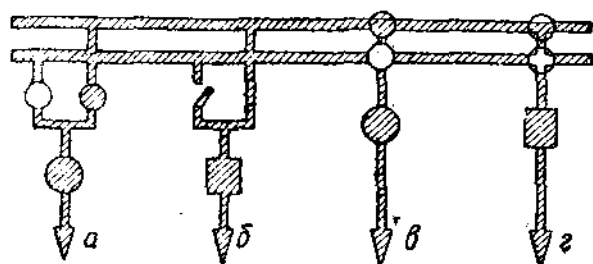
Генераторы обозначаются обычно в виде круга, в середине которого помещается номер генератора или индикатор, указывающий его рабочее или нерабочее состояние.

Для трансформаторов, реакторов и остальных элементов мнемонической схемы применяются самые различные обозначения.

На фиг. 269 изображен участок мнемонической схемы Мосэнерго. Эта схема выполнена из медных полосок, наложенных на поверхность деревянного щита и покрашенных в различные цвета в зависимости от напряжения. Разъединители выполнены в виде медных полосок со штифтами, которые вставляются в соответствующие отверстия в щите. Масляные выключатели изображены в виде прямоугольников. Сигнализация их положения производится двумя лампочками: красного и зеленого цвета, которые включаются или от руки с диспетчерского пульта при помощи кнопок или же автоматически от устройств телеуправления.

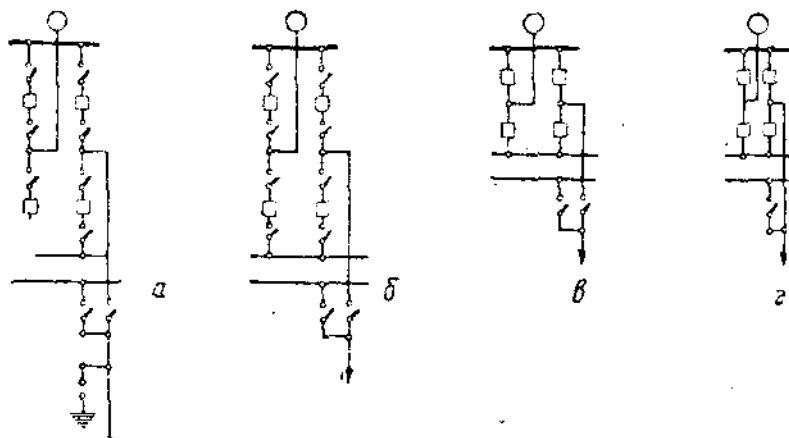
Выбор способа обозначения элементов мнемонической схемы имеет большое значение, определяя собой размеры щита и наглядность схемы. Большое значение имеет также выбор степени подробности изображения действительной схемы.

На мнемонической схеме следует помещать только основную коммутационную аппаратуру, имеющую оперативное значение. Такую аппаратуру, как: линейные разъединители, разъединители трансформаторов, заземляющие разъединители и т. п., на схеме не следует показывать, чтобы не загромождать ее. Из разъединителей вообще следует помещать на схеме только те, которые служат для изменения коммутации схемы (например, шинные разъединители) или же заменяют собой масляные выключатели (см. фиг. 271).



Фиг. 270. Способы изображения разъединителей и масляных выключателей на мнемонических схемах.

маторов, заземляющие разъединители и т. п., на схеме не следует показывать, чтобы не загромождать ее. Из разъединителей вообще следует помещать на схеме только те, которые служат для изменения коммутации схемы (например, шинные разъединители) или же заменяют собой масляные выключатели (см. фиг. 271).



Фиг. 271. Различные способы изображения схемы.

а — полная схема; б — сокращенная схема, экономия 35%; в — сокращенная схема, экономия 52%; г — сокращенная схема, экономия 75%.

Коммутационные элементы, которые изменяют свое положение сравнительно редко и употребляются только в случае вывода оборудования из работы (линейные и заземляющие разъединители, трансформаторные разъединители и т. п.), можно заменить на схеме съемными знаками. Эти знаки прикрепляются к поверхности щита или навешиваются в соответствующих местах схемы и указывают на заземление, вывод в ремонт или наличие работающих людей на данном оборудовании или в данной установке.

Значительного сокращения площади мнемонической схемы можно также достигнуть путем надлежащего выбора способов изображения элементов схемы. В этом отношении особенно экономичны способы изображения разъединителей, показанные на фиг. 270, в и г, хотя они и менее наглядны и привычны, чем другие. Здесь разъединители объединены в схеме с сборными шинами и изображаются или в виде точки или в виде креста. Освещение точки или креста или изменение их цвета сигнализирует включение разъединителя на ту или иную систему шин.

Помимо основного коммутационного оборудования на мнемонических схемах специальными сигналами иногда обозначают также такое вспомогательное оборудование, как, например, защиту от коротких замыканий на линиях, генераторах и трансформаторах, заземление нулевых точек трансформаторов, места установки автоматических регуляторов частоты, нагрузки и напряжения, наличие синхроскопов и автоматических синхронизаторов и т. п. Помимо схемы сети на диспетчерском щите иногда наносят административное деление сети на районы, с тем чтобы диспетчер мог видеть, какому району подчинена та или другая подстанция и т. д.

62. Индикаторы сигнализации

В настоящее время нет еще установившихся решений в выборе типа индикаторов сигнализации. Различные фирмы и компании за границей и различные районные управления у нас применяют самые разнообразные способы сигнализации, начиная с элементарных сигналов, устанавливаемых от руки, и кончая автоматически действующими световыми или механическими приспособлениями.

Сигнализация на щитах управления сводится в основном к четырем типам:

- а) сигнализация положения коммутационной аппаратуры;
- б) сигнализация электрического состояния схемы;
- в) сигнализация направления мощности;
- г) фиксация посланных распорядительных и полученных известительных сигналов.

Рассмотрим первоначально способы сигнализации положения коммутационной аппаратуры и электрического состояния схемы.

Для коммутационной аппаратуры на мнемонической схеме должны в основном осуществляться следующие сигналы:

- а) коммутационное устройство включено;
- б) коммутационное устройство выключено;
- в) коммутационное устройство в нерабочем состоянии (повреждение);
- г) на коммутационном устройстве производятся работы или испытания (работают люди).

Воспроизведение всех четырех сигналов при помощи автоматических индикаторов нецелесообразно, так как усложняет и удорожает сигнальное устройство, увеличивает количество сигналов и усложняет коммутацию между диспетчерским щитом, пультом и соответствующ-

щей телемеханической аппаратурой. Кроме того, это и не является необходимым, так как извещение о выводе оборудования в ремонт или исключении его для испытаний получается неавтоматически, выключение производится с ведома и при предварительном согласовании с диспетчером, вывод аппаратуры в ремонт или для испытания происходит редко и на продолжительный срок; быстрота передачи об этом сигнала не имеет особого значения. Поэтому на мнемонической схеме устраивают обычно сигнализацию только включенного и выключенного состояния коммутационного устройства, а нахождение ее в ремонте или испытании сигнализируют навешиванием от руки около соответствующего символа особого сигнала или таблички с надписью «ремонт» или «испытание». Это целесообразно и для выделения аппаратуры, находящейся в нерабочем состоянии, особыми сигналами.

Для полной сигнализации состояния схемы необходимы пять сигналов:

- а) состояние под напряжением;
- б) состояние без напряжения;
- в) авария;
- г) нерабочее состояние;
- д) производство работ или испытаний.

Так же как и для коммутационной аппаратуры, последние два сигнала целесообразно заменять навешиванием условных обозначений.

Аварийный сигнал может быть получен только для тех элементов схемы, для которых предусмотрена автоматическая аварийная сигнализация. Этот сигнал должен резко отличаться от остальных сигналов. Целесообразней всего осуществлять его в виде изломанной стрелы, помещенной около соответствующего элемента схемы и освещаемой в момент получения сигнала об аварии. В тех случаях, когда автоматической сигнализации аварии нет, можно ограничиться, так же как и при сигнализации состояния в ремонте, навешиванием на мнемонической схеме таблицы с надписью «авария».

Таким образом и в случае сигнализации состояния схемы автоматические сигнальные устройства должны давать два сигнала.

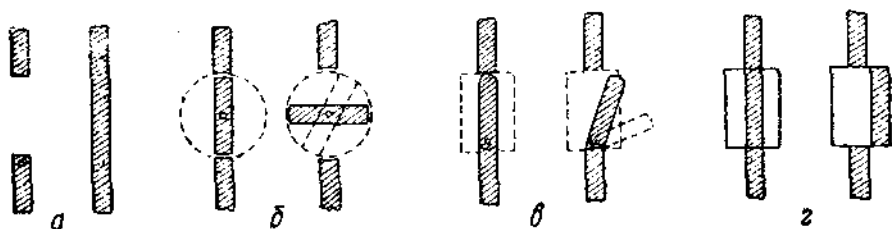
Мы не упоминаем здесь о сигналах несоответствия, которые должны иметь место в случае автоматической сигнализации изменения положения коммутационной аппаратуры, а в некоторых случаях и состояния схемы. Способы получения этих сигналов были рассмотрены выше при описании схем сигнализации и исполнения. На мнемонической схеме для сигналов несоответствия применяется обычно способ переключения соответствующих световых индикаторов на прерывистый ток (мигание).

Существующие способы сигнализации положения коммутационной аппаратуры и состояния схемы можно разбить на следующие группы:

- а) слепые схемы с механическими индикаторами;
- б) слепые схемы с цветными индикаторами;
- в) слепые схемы с световыми индикаторами;
- г) светящиеся схемы.

В слепых схемах с механическими индикаторами мнемоническая схема выполняется на диспетчерском щите путем накрашивания или аппликации (накладывания на поверхность щита схемы, выполненной из металла, картона или фибры). Сигнализация положения объектов производится при помощи механических приспособлений, изменяющих положение символа объекта или начертание его. Способы изображения объектов в схемах с механическими индикаторами изображены на фиг. 272.

В простейшем случае сигнализация положения выключателей может производиться при помощи навешивания и снятия от руки вставных кусочков мнемонической схемы, расположенных в месте нахождения объекта (фиг. 272, а). В другом способе объект-выключатель изображается поворачивающимся отрезком, который при включенном положении стоит в направлении линии схемы, а при выключенном перпен-



Фиг. 272. Способы сигнализации с механическими индикаторами.

дикулярно к ней (фиг. 272, б). Изменение положения этого отрезка может производиться от руки или автоматически от электромагнитных устройств, подобных применяемым на щитах управления.

Некоторые фирмы используют в качестве механических индикаторов головки командно-квитирующих ключей, которые в этом случае встраиваются в соответствующие места мнемонической схемы и сигнализируют своим положением состояние объекта. Помимо вращающейся части, указывающей положение объекта, командно-квитирующие ключи имеют в середине головки лампочку несоответствия, зажигающуюся в момент изменения положения объекта.

Третий способ сигнализации с механическими индикаторами изображен на фиг. 272, в. По принципу действия он аналогичен второму и отличается от него только видом индикатора, приближающегося по форме к стандартному обозначению масляных выключателей в электрических схемах. Так же как и в предыдущем случае, изменение положения символа может производиться как от руки, так и автоматически.

В некоторых случаях, чтобы избавить диспетчера от необходимости подходить к щиту, электромагнитные механизмы применяются для перемещения индикаторов и при ручной сигнализации. В этих случаях управление индикаторами осуществляется при помощи кнопок или ключей, расположенных на пульте.

При изменении положения механических индикаторов с помощью электромагнитных механизмов нужно заботиться о том, чтобы повреждение индикатора не вызывало ложной сигнализации. Для этого

механические индикаторы выполняются обычно с двумя обмотками и тремя положениями. При протекании тока в одной обмотке индикатор занимает одно положение, сигнализируя включенное состояние объекта, при протекании тока во второй обмотке он занимает другое положение, сигнализируя выключенное положение объекта, при отсутствии же тока в обеих обмотках индикатор устанавливается в третье положение (см. пунктир на фиг. 272,б и в), указывая на неисправность своих цепей.

К способу сигнализации с механическими индикаторами можно также отнести сигнализацию при помощи семафорных электромагнитных механизмов, помещаемых позади прорезов, сделанных в символах коммутационных аппаратов. Шторки семафоров окрашиваются в цвет фона доски и имеют покрашенную линию того же цвета, что и мнемоническая схема. При включенном положении объекта электромагнитный механизм перемещает шторку таким образом, чтобы покрашенная линия совпадала с линией мнемонической схемы. При выключенном положении объекта электромагнитный механизм перемещает шторку в другое положение, и линия оказывается вне мнемонической схемы (фиг. 272,г).

В слепых схемах с цветными индикаторами начертание схемы выполняется так же, как и в предыдущем случае, но сигнализация состояния объектов производится не при помощи изменения положения их символов, а путем изменения их окраски.

В простейшем случае это выполняется при помощи вставления в отверстие, имеющиеся в щите, цветных штифтов с различной окраской. При автоматической сигнализации применяются электромагнитные механизмы, которые при получении сигнала передвигают позади отверстия в щите шторку, окрашенную в различные цвета. Обычно для сигнализации применяют красный и зеленый цвета, общепринятые в настоящее время в электрических установках для обозначения включенного и выключенного состояний коммутационных аппаратов.

В схемах с цветной сигнализацией помимо двух основных положений коммутационных аппаратов производят иногда также и сигнализацию других ее состояний. Так, например, фирма Строуджер осуществляет сигнализацию положения выключателей при помощи четырех цветов. Для различных положений коммутационной аппаратуры эта фирма применяет следующие комбинации цветов:

белый — включен;

комбинации белого и красного — выключен;

красный — выключен и нельзя включить;

комбинация белого и зеленого — негоден к употреблению;

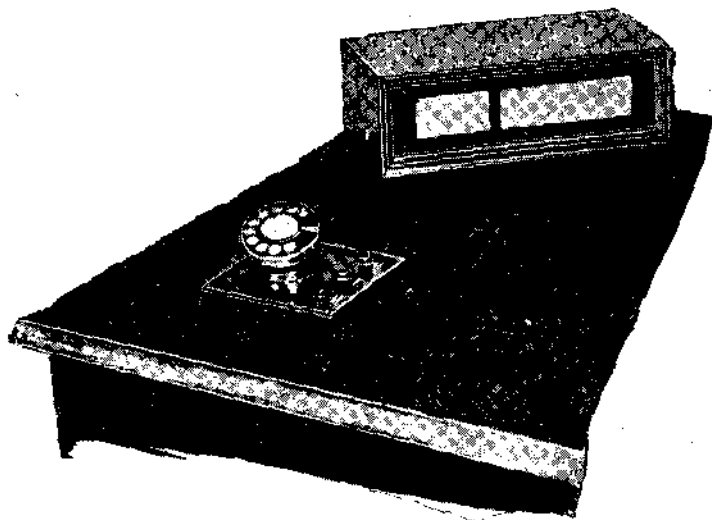
зеленый — выключен и производится работа (находятся люди);

желтый — выключен и готов для испытания и т. д.

Управление индикаторами в схеме фирмы Строуджер производится или автоматически (от телемеханической аппаратуры) или от руки. В последнем случае управление индикаторами, расположенными на щите, осуществляется с диспетчерского пульта при помощи номерного диска от автоматического телефона, двух ключей и специальной автоматической схемы. При желании изменить положение какого-либо

индикатора диспетчер поворачивает один из ключей и затем выбирает на номерном диске номер индикатора. При этом наборе приходит в действие автоматическая схема, которая выбирает соответствующий индикатор и соединяет его электромагнитный механизм с номерным диском. Одновременно номер выбранного индикатора появляется на контрольной световой панели, что дает диспетчеру возможность проверить правильность выбора. Если выбор произведен правильно, то диспетчер поворачивает другой ключ и, воздействуя снова на номерной диск, перемещает индикатор в желаемое положение, выбирая номер, соответствующий этому положению.

На фиг. 273 изображен комплект выбирающей аппаратуры и световое табло на диспетчерском пульте.



Фиг. 273. Оборудование диспетчерского стола.

Следует указать, что вряд ли целесообразно идти на такое усложнение ради получения сигнализации некоторых состояний аппаратуры, необходимость в которой появляется сравнительно редко.

Сигнализация состояния схемы на щитах с цветными индикаторами осуществляется так же, как и сигнализация положения объектов: на соответствующих участках схемы делаются прорезы, позади которых помещаются электромагнитные механизмы со шторками, окрашенными в два цвета. При перемещении шторки отверстие окрашивается в тот или иной цвет и сигнализирует этим наличие или отсутствие на данном участке напряжения.

В схемах со световыми индикаторами сигнализация положения объектов и состояния схемы производится так же, как и в схемах с цветными индикаторами, с той только разницей, что в этом случае вместо электромагнитных механизмов со шторками или барабанчиками применяются цветные лампочки. Эти лампочки помещаются позади застекленных символов коммутационной аппаратуры и освещают их

в зависимости от положения коммутационной аппаратуры тем или иным цветом. Для сигнализации включенного и выключенного положения применяют обычно лампочки красного и зеленого цвета.

В некоторых случаях сигнальные лампочки вставляются непосредственно в поверхность щита, как это показано на фиг. 269.

Светящиеся схемы значительно отличаются от слепых. В мнемонической схеме освещаются не только символы коммутационной аппаратуры, но и все остальные части схемы. Диспетчерский щит выполняется или из листового железа с прорезами, которые закрываются прозрачным материалом, или же из матового стекла, окрашенного густым фоном, на котором оставляются незакрашенными места, соответствующие мнемонической схеме.

Сигнализация положения объектов и состояния схемы производится на светящейся схеме или путем изменения цвета освещения схемы или же по принципу «освещено — погашено», при котором освещаются только те части схемы, которые находятся под напряжением, те же части, на которых напряжения нет, погашены. С точки зрения наглядности более целесообразен второй способ сигнализации, так как противопоставление света и темноты является наиболее выразительным и легко понятным. С точки зрения надежности более правильно применение первого принципа, так как отсутствие света при осуществлении второго принципа может быть вызвано повреждением сигнализации (перегоранием ламп, повреждением в проводке и т. д.). В некоторых случаях при сигнализации по принципу «освещено — погашено» исправность погашенных лампочек и подводы к ним контролируют тем, что через них пропускают небольшой ток, недостаточный для их зажигания. Исчезновение этого тока дает сигнал о повреждении. Такой контроль, однако, сильно усложняет сигнализацию и вряд ли является целесообразным.

Для фиксации положения коммутационной аппаратуры на светящейся схеме в некоторых случаях применяют вместо изменения цвета освещения символа — изменение его начертания. Некоторые из способов сигнализации, применяемые в этих случаях, изображены на фиг. 274. В одном из положений объекта освещаются одни части символа, а в другом другие. Так, например, при изображении объекта, показанном на фиг. 274,а, при включенном положении объекта освещается часть символа, совпадающая с линией мнемонической схемы, а при выключенном объекте освещается часть символа, расположенная перпендикулярно этой линии. На фиг. 274,б и в освещение различных частей символа создает эффект перемещения символа.

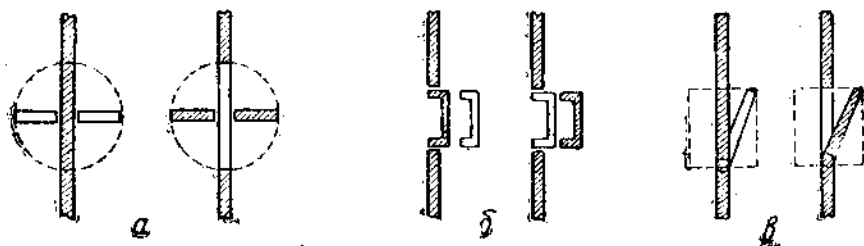
Выбор способа изображения сигналов на мнемонических схемах зависит от размеров диспетчерского пункта, наличия телемеханической аппаратуры, требуемой наглядности и от вкуса проектирующего.

В отношении наглядности наиболее совершенными являются светящиеся схемы, которые дают как сигнализацию положения коммутационной аппаратуры, так и наиболее полную сигнализацию состояния мнемонической схемы. Однако эти схемы значительно дороже других, требуют больше места, потребляют больше энергии и труднее поддаются переделкам, связанным с изменениями схемы. Поэтому их применение

наиболее целесообразно в диспетчерских пунктах небольших сетей или в пунктах управления отдельными установками, где переделки схемы требуются сравнительно редко и размеры светящейся схемы получаются сравнительно небольшими.

Несколько менее наглядны мнемонические схемы с световыми или цветными индикаторами. Наглядность сигнализации положения выключателей на этих схемах вполне удовлетворительна, чего нельзя сказать про сигнализацию состояния схемы. В случае применения этих способов сигнализации мнемоническая схема получается дешевле, чем светящаяся, занимает значительно меньше места, потребляет меньше энергии и легче допускает переделки.

Применение механических индикаторов дает вполне удовлетворительную сигнализацию положения коммутационной аппаратуры, в некоторых отношениях даже более наглядную, чем в схемах со световыми



Фиг. 274. Способы сигнализации положения коммутационной аппаратуры в световых схемах.

и цветными индикаторами. Но состояние схемы в щитах с механическими индикаторами не сигнализируется. Схемы как светящиеся, так и со световыми индикаторами обладают тем недостатком, что видимость световых сигналов сильно зависит от степени освещенности наружной поверхности щита, и при большой освещенности эти сигналы плохо видны. Освещенность щита обычно сильно изменяется в течение суток. Поэтому для щитов со световой фиксацией сигналов приходится принимать специальные меры, уменьшающие колебания освещенности поверхности щита. Для этого в диспетчерских пунктах часто устраивают верхний свет с рассеянной освещенностью, устраивают регулирование интенсивности свечения световых индикаторов, освещают щит отраженным светом и т. п. В некоторых случаях диспетчерский пункт вообще лишают дневного света, ограничиваясь искусственным освещением.

Применение ручной или автоматической сигнализации зависит от степени телемеханизации диспетчерского пункта. Часто применяют смешанную сигнализацию, для часто переключаемых объектов автоматическую или ручную (дистанционную), управляемую с диспетчерского пульта, а для прочих объектов (например, разъединителей) — ручную.

Пример такой смешанной сигнализации был приведен на фиг. 269, где для разъединителей применяется ручная перестановка механических индикаторов, а для масляных выключателей — автоматическая

сигнализация световыми индикаторами в виде двух лампочек разного цвета.

Перейдем к рассмотрению других видов сигнализации на диспетчерском щите.

Выше уже отмечалось, что при наличии автоматической передачи аварийного сигнала целесообразнее всего осуществлять аварийную сигнализацию в виде знака изломанной стрелы, помещенной около соответствующего объекта, или линии мнемонической схемы щита¹. Эти символы могут быть выполнены светящимися или цветными, должны быть достаточно велики и ярко окрашены, чтобы резко выделяться среди остальных индикаторов. Помимо сигнализации на щите короткого замыкания в диспетчерских пунктах устраивается сигнализация ненормальных режимов, например, появление земли, понижение напряжения, выключение вспомогательных источников тока, понижение или повышение давления пара и т. п. Фиксация этих сигналов осуществляется или на диспетчерском щите или чаще на особой аварийной панели. В том и другом случае она выполняется обычно в виде световых табло, на которых при получении сигнала вспыхивает соответствующая надпись, говорящая о характере нарушения режима. При расположении на диспетчерском щите фон светового табло следует делать одноцветным с поверхностью щита, чтобы в неосвещенном состоянии световое табло не выделялось и не отвлекало внимания диспетчера от мнемонической схемы.

Сигналы о ненормальных режимах целесообразней всего располагать на диспетчерском щите, помещая их в мнемонической схеме около тех установок, к которым они относятся. Расположение этих сигналов на отдельной панели неудобно тем, что этим на диспетчерском пункте создается второй объект, требующий непрерывного внимания диспетчера. Такое расположение неудобно еще и тем, что сигналы на панели располагаются не в схеме, что менее наглядно. Поэтому к расположению сигналов о ненормальных режимах на отдельной панели следует прибегать только в тех случаях, когда на диспетчерском щите для этого нет места. Исключение составляют сигналы местного порядка, не относящиеся к электрическим установкам, контролируемым диспетчером, как, например, сигналы о перегорании предохранителей, о выключении вспомогательных источников тока в диспетчерском пункте, о понижениях напряжения этих источников и т. п. Такие сигналы целесообразно помещать на отдельной панели.

Однако и эту панель следует оставлять в помещении диспетчерского пункта только в том случае, если наблюдение за установками диспетчерского пункта возлагается на самого диспетчера. Если же эта задача возлагается на специальный обслуживающий персонал, несущий круглосуточное дежурство, то панель с сигналами неисправности следует устанавливать в том помещении, где происходит это дежурство.

Распорядительные и известительные сигналы осуществляются обычно, так же как и сигналы ненормальных режимов, в виде световых

¹ Фактически такие сигналы в СССР имеются пока еще только в проектах.

табло с соответствующими надписями, освещаемыми при получении или посылке сигналов¹. Эти табло располагаются или на щите или на специальной панели. По тем же причинам, что и для сигналов ненормальных режимов, более целесообразно располагать их на диспетчерском щите у схем соответствующих установок.

При большом количестве распорядительных сигналов их выгодно передавать в виде цифр, присваивая каждому распорядительному сигналу определенное однозначное, двухзначное или трехзначное число. Такой способ применяется, например, в диспетчерском пункте Нью-Йоркской эдисоновской компании, где распорядительная сигнализация очень развита и заменяет почти все телефонные переговоры диспетчера. В этой установке все посылаемые сигналы автоматически регистрируются при помощи записывающего аппарата, отмечающего и время посылки сигнала. На контролируемой установке сигналы воспроизводятся в виде ударов гонга и также автоматически записываются специальным аппаратом.

Сигналы о направлении активной и реактивной мощности осуществляются, как говорилось при описании схем передачи этих сигналов, в виде стрелок, помещенных по концам линии. Эти стрелки выполняются световыми или цветными. Однако эту сигнализацию можно выполнять также с механическими индикаторами, в виде стрелки, помещаемой посредине линии и поворачивающейся в ту или другую сторону в зависимости от полученного сигнала о направлении активной или реактивной мощности.

Следует остановиться еще на способах размещения сигналов о действии устройств телеуправления. Как упоминалось при рассмотрении принципов действия устройств телеуправления, в современных установках предусматривается целый ряд сигналов: контроля их исправного состояния, правильности работы, состояния линий связи и т. п. Эти сигналы должны располагаться в диспетчерском пункте, чтобы диспетчер знал, в каком состоянии находятся устройства телеуправления и можно ли ими пользоваться.

Применяют два способа расположения сигналов, контролирующих состояние устройств телеуправления: на диспетчерском пульте около квитирующих ключей и лампочек несоответствия, относящихся к данной установке, и на диспетчерском щите, около схемы соответствующей установки. Более целесообразно второе расположение, поскольку в этом случае диспетчер, внимание которого сосредоточено на щите, держит их все время в поле своего зрения. Кроме того, на диспетчерском пульте место для размещения аппаратуры бывает обычно ограниченным.

В заключение нужно остановиться еще на способах осуществления сигналов на контролируемой установке.

На контролируемую установку могут передаваться командные или распорядительные сигналы. Для воспроизведения командных сигналов применяются два способа. В одном из них на контролируемой установке

¹ Как указывалось при описании схемы посылки распорядительных сигналов (см. стр. 297), распорядительный сигнал должен оставаться в диспетчерском пункте до тех пор, пока он не будет принят на контролируемой установке.

устанавливается мнемоническая схема, подобная применяемой в диспетчерском пункте. Нормально схема отражает действительное состояние контролируемой установки. При получении команды на ней появляются дополнительные сигналы, указывающие на переключения, предписываемые диспетчером. Эти сигналы осуществляются или путем изменения состояния индикатора, отражающего действительное положение аппарата, например, переключения его со спокойного света на мигающий, изменения интенсивности освещения символа аппарата, изменения цвета его и т. п., или же посредством особых сигналов, возникающих рядом с сигналами, отражающими действительное положение.

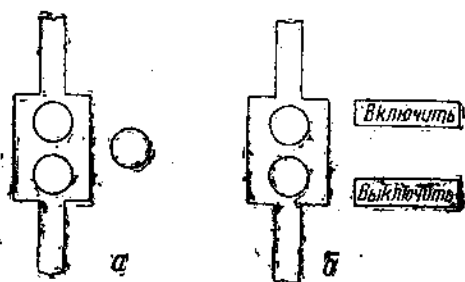
При втором способе отдельной мнемонической схемы не делают. Командные сигналы воспроизводятся в этом случае отдельно и осуществляются или на специальных панелях или на панелях щита управления рядом с приборами и сигнальными приспособлениями контролируемых аппаратов.

При отдельном воспроизведении командных сигналов применяются также два способа. В первом из них командные сигналы указывают только на то, что диспетчер желает изменить положение контролируемого аппарата, не указывая, какая операция должна быть при этом произведена (например, для масляного выключателя передается сигнал «переключить»). Воспроизведение сигнала при этом часто осуществляется аналогично сигналам несоответствия в диспетчерском пункте, т. е. путем переключения освещения символа аппарата на мигающий свет или при помощи включения специальной лампочки несоответствия (фиг. 275, а).

Во втором способе командный сигнал указывает непосредственно ту операцию, которую нужно произвести (например, для масляного выключателя передается сигнал «включить» или «выключить»). В этом случае командный сигнал осуществляется в виде отдельных табло с соответствующими надписями, помещенными около символа аппарата (фиг. 275, б).

Более целесообразен второй способ, так как, указывая операцию, которую нужно произвести, он, с одной стороны, дает большую гарантию от ошибочного понимания или неверного воспроизведения сигнала и, с другой, избавляет дежурный персонал контролируемой установки от необходимости думать, какую операцию ему нужно осуществить.

Воспроизведение распорядительных сигналов на контролируемой установке может осуществляться на особой панели в виде световых табло с соответствующими надписями или в виде блинкерных устройств.



Фиг. 275. Способы воспроизведения командных сигналов на контролируемой установке.

а — с лампочкой несоответствия; б — со световыми табло.

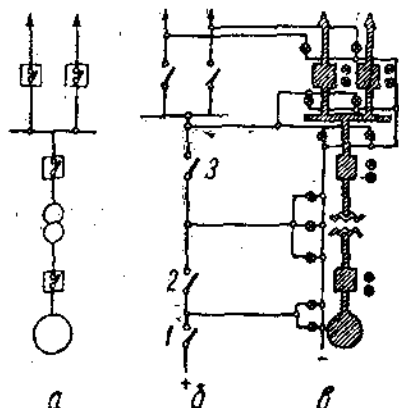
63. Схемы зависимости

Как указывалось во втором разделе настоящей главы, осуществление на мнемонической схеме диспетчерского щита только сигнализации положения коммутационной аппаратуры часто недостаточно.

При сложной коммутации сети целесообразно осуществлять, кроме того, сигнализацию электрического состояния схемы, которая сводится в основном к указанию наличия и отсутствия напряжения или тока на отдельных участках схемы.

Сигнализацию электрического состояния схемы можно осуществить путем установки на каждом контролируемом участке трансформатора напряжения и реле, которое при наличии напряжения на участке передает соответствующий сигнал в диспетчерский пункт. Такая сигнализация, однако, нецелесообразна вследствие большой стоимости значительного количества потребной аппаратуры и сильного увеличения числа сигналов, передаваемых в диспетчерский пункт.

Гораздо целесообразней применение так называемых схем «зависимости», имитирующих действительную схему установки в диспетчерском пункте при помощи специальной проводки. Схема зависимости представляет собой электрическую схему, повторяющую конфигурацию схемы контролируемой установки или сети (фиг. 276).



Фиг. 276. Построение схемы зависимости.

а — действительная схема; б — схема зависимости; в — мнемоническая схема со световыми индикаторами.

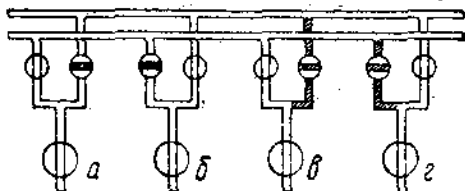
аппаратура, освещающая соответствующие участки мнемонической схемы на диспетчерском щите или сигнализирующая каким-либо другим образом наличие напряжения на этом участке. Места схемы, в которых на действительной установке располагаются точки питания (генераторы, фидера и т. п.), присоединяются к одному из полюсов источника питания осветительной аппаратуры или реле, включающих эту аппаратуру. При работе этих точек питания (например, при пуске генератора или включения фидера) сигнал об этом передается в диспетчерский пункт. Здесь он воздействует на сигнальное реле, которое, замыкая свои контакты, помещенные в схеме зависимости (например, контакты 1 на фиг. 276), присоединяет соответствующую часть этой схемы к источнику тока.

Коммутационные аппараты изображаются в схеме зависимости контактами сигнальных реле. Эти реле, получая сигналы о положении аппаратов через устройства телеуправления, замыкают свои контакты при включенном положении этих аппаратов и соединяют между собой участки схемы зависимости аналогично тем участкам действительной

схемы, которые получают соединение при включении данного коммутационного аппарата. Таким образом все участки схемы, которые в действительной установке соединены с источником энергии и находятся под напряжением, в схеме зависимости будут соединены с местным источником питания. Лампочки или сигнальные приспособления, присоединенные к этим участкам, будут находиться под током и указывать в мнемонической схеме наличие напряжения на участке.

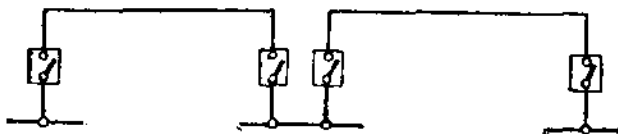
Осуществление зависимости сигнализации только от напряжения не во всех случаях дает достаточно наглядное воспроизведение электрической схемы. Примеры таких случаев изображены на фиг. 277 и 277а.

На первой из этих фигур изображена часть светящейся схемы с масляным выключателем и шинными разъединителями. В левой части фиг. 277 изображено включение, зависящее от напряжения. Если масляный выключатель включен и обе системы шин находятся под напряжением, то ответвления к разъединителям будут освещены с обеих сторон. На расстоянии схемы *a* и *б* будут производить почти одинаковое впечатление, несмотря на то, что разъединители в них включены по-разному. Этот недостаток устранен в схемах *в* и *г*, где для ответвлений к разъединителям применен принцип включения, зависящего от тока. Здесь лампочки, освещающие участки ответвлений в светящейся схеме, присоединены к лампочкам сигнализации положения разъединителя. Поэтому при выключении разъединителя одновременно с изменением положения его индикатора меняет свое состояние и принадлежащее ему ответвление, которое находится под напряжением, но не под током.



Фиг. 277. Схема, зависящая от напряжения.

a и *б* — схема, зависящая от напряжения;
в и *г* — схема, зависящая от тока.



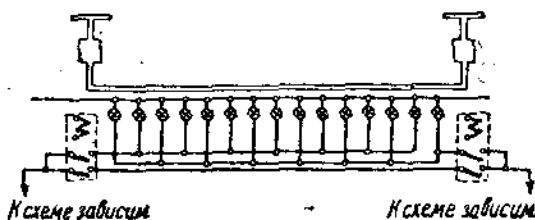
Фиг. 277а. Линия, питаемая с двух концов.

Как можно видеть из фиг. 277, включение, зависящее от тока, дает значительно большую наглядность.

Другой случай изображен на фиг. 277а, где представлена линия, питаемая с двух сторон и имеющая промежуточную подстанцию. В случае схемы, зависящей от напряжения, эта линия будет освещена по всей своей длине независимо от того, имеет ли она питание с одной стороны или с двух, и таким образом эти два случая будут сигнализироваться одинаково.

Между тем с точки зрения коммутации схемы эти случаи включения принципиально различны: в первом случае выключение линии

с другого конца лишает присоединенного к ней абонента питания, и сама линия остается без напряжения; во втором же случае линия и абонент продолжают оставаться под напряжением. Поэтому и здесь целесообразно вводить зависимость от тока, обозначая линии, находящиеся только под напряжением, и линии, несущие нагрузку различными сигналами. Можно, например, сигнализировать линию, находящуюся только под напряжением, штриховым освещением, а линию, находящуюся под нагрузкой, освещать полностью. Такую сигнализацию легко осуществить, связывая одну половину лампочек, освещающих линию, с индикаторами масляного выключателя на одном конце



Фиг. 278. Включение освещения линии в зависимости от тока и напряжения.

линии, а другую половину лампочек — с индикаторами второго выключателя (фиг. 278). Можно для этой цели использовать также токовые реле или реле мощности, сигнализирующие диспетчеру о наличии тока в линии.

Зависимость от тока следует вводить только для некоторых участков схемы,

где зависимость от напряжения не обеспечивает необходимой наглядности, так как введение этой зависимости обычно сильно усложняет схему.

В больших схемах зависимости, особенно при осуществлении этих схем на диспетчерских щитах, следует устанавливать определенные границы их действия, разбивая схему зависимости на несколько самостоятельных участков. При отсутствии этих границ в некоторых случаях может оказаться, что питание значительной части освещения схемы или сигнальных устройств, сигнализирующих наличие напряжения, будет включено через один из контактов схемы. В этом случае мощность контактов сигнальных реле схемы зависимости придется выбирать с излишним запасом. Разграничение схемы зависимости производится путем включения в некоторых точках сети (на вводах линий на шины) трансформаторов напряжения и передачи сигналов о наличии напряжения в этих точках на диспетчерский пункт.

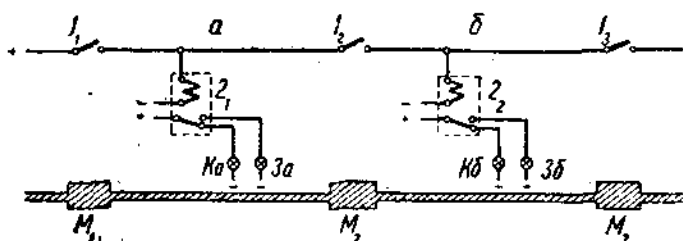
Схема зависимости, изображенная на фиг. 276, дает сигнализацию на диспетчерском щите по принципу «освещено — погашено».

В случаях применения сигнализации по принципу изменения цвета к участкам схемы зависимости вместо осветительной аппаратуры присоединяются реле, включающие в зависимости от положения своих контактов лампочки того или другого цвета (фиг. 279).

При рассмотрении требований к устройствам телеуправления указывалось, что диспетчер при посылке команды должен иметь возможность предварительно проверить по сигналам диспетчерского щита правильность предпринимаемых им операций. При этом желательно, чтобы мнемоническая схема не только давала указание о том, какое положение примут после осуществления операции коммутационные

аппараты, но также и о том, как изменится электрическое состояние схемы.

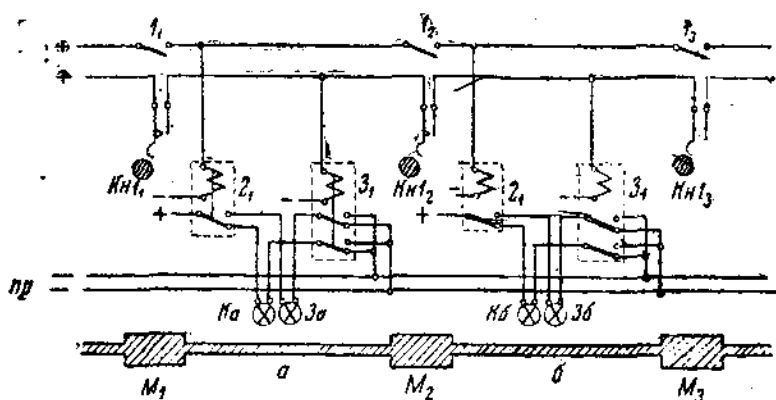
Такая сигнализация может быть осуществлена при помощи двойной схемы зависимости.



Фиг. 279. Включение освещения mnemonic схемы при сигнализации по принципу изменения цвета.

$1_1, 1_2, 1_3$ — контакты сигнальных реле; a и b — участки схемы зависимости; $2_1, 2_2$ — реле схемы зависимости; K и 3 — красные и зеленые сигнальные лампочки.

Принцип построения двойной схемы зависимости изображен на фиг. 280, где представлен участок с тремя масляными выключателями M_1, M_2 и M_3 . Одна из схем зависимости (верхняя на фиг. 280) образуется контактами сигнальных реле $1_1, 1_2$ и 1_3 , другая — контактами командно-квитирующих кнопок $Kн1_1, Kн1_2$ и $Kн1_3$. Сигнальные



Фиг. 280. Двойная схема зависимости.

$1_1, 1_2, 1_3$ — контакты сигнальных реле, $Kн1_1, Kн1_2, Kн1_3$ — контакты командно-квитирующих кнопок; 2 и 3 — реле схемы зависимости; a и b — участки схемы зависимости, K и 3 — красные и зеленые лампочки, освещающие участки mnemonic схемы.

лампочки, освещающие участки mnemonic схемы, включаются на каждом участке через контакты двух реле 2 и 3 , из которых одно приключается к схеме зависимости, образованной контактами сигнальных реле, а другое — к схеме зависимости, образованной контактами командно-квитирующих кнопок $Kн1$.

В положении, показанном на фиг. 280, участки обеих схем зависимости лишены напряжения. Реле 2 и 3 находятся в отпущенном состоянии. Через контакты их включены красные сигнальные лампочки *Ка*, *Кб*, которые горят спокойным светом, сигнализируя, что соответствующие участки mnemonicеской схемы находятся без напряжения.

При включении масляного выключателя M_1 диспетчер должен сперва переключить командно-квитирующий ключ $Кн1_1$. При этом участок *a* нижней схемы зависимости получит напряжение. Реле 2а, приключенное к этому участку, сработает и переключит свои контакты. При этом контактом *б* оно переключит лампочку *Ка* на прерывистый ток, отчего эта лампочка загорится мигающим светом, сигнализируя, что участок *a* схемы при включении масляного выключателя M_1 изменит свое электрическое состояние. Если перед включением кнопки $Кн1_1$ была включена кнопка $Кн1_2$, то напряжение получают участки *a* и *б* схемы зависимости. При этом на мигающий свет будут переключены как лампочка *Ка*, так и лампочка *Кб*. Освещая соответствующие участки на mnemonicеской схеме мигающим светом, эти лампочки будут сигнализировать, что при включении масляных выключателей M_1 и M_2 напряжения получают участки *a* и *б* схемы.

При включении масляных выключателей M_1 и M_2 сигнальные реле их замкнут свои контакты 1_1 и 1_2 . При этом получают напряжение участки *a* и *б* верхней схемы зависимости, благодаря чему сработают реле 1а и 1б. Как можно видеть из схемы фиг. 280, в этом случае через контакты реле 2 и 3 включатся зеленые сигнальные лампочки 3а и 3б, которые будут гореть спокойным светом, сигнализируя, что соответствующие участки схемы находятся под напряжением.

64. Маркировка и окраска mnemonicеских схем

При оперативных сношениях диспетчера с дежурным персоналом большое значение имеет введение единообразного наименования оборудования. Отсутствие определенной единообразной системы в наименовании оборудования может привести к взаимному непониманию при передаче оперативных сообщений или распоряжений и к ошибочным операциям, например, к выключению или включению одного масляного выключателя вместо другого, выключению или включению другой линии и т. п.

Поэтому в энергосистемах каждому элементу оборудования или схемы присваивается определенный номер или название, и при всех переговорах между диспетчером и дежурным персоналом контролируемых установок употребляются только эти названия. Присвоенные номера или названия проставляются на всех оперативных схемах, надписываются на самом оборудовании контролируемых установок и выписываются на mnemonicеской схеме диспетчерского щита около соответствующих символов оборудования.

Для маркировки оборудования применяются два способа: цифровой и территориально-географический.

В цифровом способе каждый аппарат получает определенный номер, который строится обычно таким образом, что порядок цифр ука-

зывает одновременно и место расположения аппарата, и его назначение. Один из способов цифровой маркировки линейных выключателей был уже рассмотрен выше при описании способов выполнения mnemonicических схем (см. § 61). В этом способе номер масляного выключателя составляется из четырех цифр. Первые две цифры содержат номер установки, на которой масляный выключатель установлен, а вторые — номер установки, к которой идет линия, включаемая этим масляным выключателем.

Применяют и другие способы цифровой маркировки, в которых номер масляного выключателя обозначает не только включаемую им линию, но также его назначение и рабочее напряжение. Так, например, в сети Мосэнерго применяется трехзначная нумерация масляных выключателей. Первая цифра трехзначного номера обозначает первую цифру напряжения, на котором установлен масляный выключатель, вторая цифра указывает назначение масляного выключателя (например, нуль обозначает линию или генератор, единица — параллельный масляный выключатель шин, тройка — трансформатор и т. д.), а третья цифра — его порядковый номер.

Цифровой способ маркировки обладает тем недостатком, что передача цифр по телефону менее разборчива, чем передача слов, и поэтому при применении его неправильное понимание переданных распоряжений или сообщение не исключены.

Территориально-географический метод маркировки состоит в том, что каждая линия или аппарат схемы получают свое определенное название. Линии электропередачи называются или по имени того района, по которому они проходят, или по имени тех установок, которые они соединяют. Двойные линии получают приставку *А* или *Б* или название «северной», «южной», «западной», «восточной» или «первой», «второй» в зависимости от своего географического расположения. Название коммутационного аппарата составляется из названия установки, на которой они установлены, и агрегата, который они обслуживают. В некоторых случаях для коммутационных аппаратов применяют смешанный способ маркировки, называя сперва установку, на которой установлен коммутационный аппарат, а затем номер его, построенный по одному из описанных выше способов.

Территориально-географический способ маркировки создает полную ясность при телефонных разговорах и устраняет возможные при цифровом методе недопонимание и ошибки.

Наряду с маркировкой большое значение для правильной работы диспетчера имеет также соответствующая расцветка mnemonicической схемы и поверхности щита. Различная расцветка mnemonicической схемы преследует цели:

- а) выделить части схемы, имеющие различные напряжения;
- б) обеспечить наглядную сигнализацию состояния схемы и коммутационной аппаратуры.

Из существующего большого количества цветов и оттенков для целей сигнализации и окраски mnemonicических схем подходят только немногие. Все смешанные цвета для этой цели неприменимы, так как при изменении дневного или вечернего освещения, а также при изме-

нении силы света сигнальных ламп они дают кажущиеся изменения в окраске, что сильно затрудняет их распознавание. Кроме того, в случае световой сигнализации эти цвета довольно трудно получить с надлежащей оптической чистотой.

Основные цвета—красный, желтый, зеленый, синий и белый—применимы полностью только для окраски слепых механических схем. Для светящихся схем и для арматуры световых индикаторов пригодны не все из них, так как светофильтры, имеющие расцветку основных цветов, дают для разных цветов при изменении силы света различную яркость для глаза. Так, например, синий свет при одной и той же силе света кажется всегда темнее, чем другие цвета, и при сильном освещении с наружной стороны становится неясным прежде других. Наиболее пригодны белый, красный, зеленый и желтый цвета. При этом нужно иметь в виду, что при быстром переходе красного цвета к белому последний в первый момент кажется зеленым, так как красный и зеленый цвета являются дополнительными.

Поэтому из упомянутых четырех цветов следует употреблять только три цвета, а именно: красный, зеленый и желтый.

Помимо этих трех цветов можно применять также смешанную окраску, например: чередующиеся цвета, пунктирную окраску или мигающий свет (мигание). Эти способы окраски следует, однако, применять только для обозначения переходных состояний, например, для обозначения состояния несоответствия, для состояния запроса в двойных схемах зависимости и т. п.

Наиболее трудно разрешение вопроса расцветки схемы в светящихся схемах, где на одной и той же линии необходимо иметь и сигнализацию разными цветами о состоянии схемы и разными цветами обозначать различное напряжение линий. В больших энергосистемах количество различных напряжений может доходить до четырех или пяти (220, 110, 35, 11, 6,6 kV). Кроме того, нужно иметь два или три цвета для сигнализации различного состояния схемы (выключен, включен и находится под напряжением, включен и без напряжения). Поэтому в большинстве случаев для светящихся схем отказываются от обозначения на схеме различных напряжений, учитывая, что диспетчер должен достаточно хорошо знать, к какому напряжению принадлежит каждый участок схемы. В некоторых случаях различные напряжения в схеме обозначают при помощи полос различного цвета, окрашенных около линий светящейся схемы, или линиями разной ширины.

Для обозначения состояния схемы употребляют обычно красный и зеленый или красный и белый цвета. Эти же цвета употребляются обычно и для обозначения положения коммутационных аппаратов.

В некоторых случаях состояние схемы сигнализируют одним цветом, изменяя в зависимости от состояния схемы интенсивность освещения ее отдельных частей. Например, части, находящиеся под напряжением, освещают сильным светом, а части, находящиеся без напряжения, — слабым светом. Как указывалось выше, полное выключение освещения для частей схемы, находящихся без напряжения, нецелесообразно как с точки зрения надежности сигнализации (повреждение

цепей или осветительных лампочек сигнализирует в этом случае выключенное состояние схемы), так и с точки зрения наглядности схемы (диспетчер не видит пути, по которому может быть подан ток в ту или другую часть сети). Несоответствие сигнализируют обычно переключением частей схемы, изменивших свое состояние или положение на мигающий свет.

В выборе цветов для расцветки схемы и сигнализации ее электрического состояния следует останавливаться на возможно меньшем количестве цветов, упрощая по возможности сигнализацию. Вряд ли следует рекомендовать применяемые в некоторых системах способы сигнализации, при которых различными цветами обозначают аппаратуру, выключившуюся автоматически или от руки, включенные аппараты, находящиеся под напряжением и без напряжения, сигналы несоответствия, вызванные диспетчером, и сигналы несоответствия, вызванные изменением положения аппаратуры на контролируемой установке, и т. п. Все эти сигналы, по своему существу могут быть и весьма полезные, значительно осложняют сигнализацию; большое же количество цветов, сигнализирующих различные состояния схемы и различные положения коммутационной аппаратуры, уменьшает наглядность и простоту схемы и требует от диспетчера некоторых размышлений.

Цвета, выбранные для окраски схемы, а также цвет самого щита ни в коем случае не должны быть яркими. Яркая раскраска схемы или яркое освещение ее, как показала практика, утомляют глаза диспетчера, который принужден значительную часть своего времени смотреть на диспетчерский щит, и понижают его внимание. Поэтому цвета для раскраски схемы выбирают обычно неяркие. Сам щит в большинстве случаев окрашивается или в темнозеленый или в темносерый цвет матового тона.

65. Конструктивное выполнение диспетчерских щитов

К конструктивному выполнению диспетчерских щитов предъявляются следующие основные требования:

- а) щит должен иметь возможно меньшие размеры и стоимость;
- б) щит должен давать возможность легкого осуществления переделок и добавлений мнемонической схемы.

Первые два требования не нуждаются в пояснениях, последнее же связано с тем, что мнемоническая схема диспетчерского щита требует обычно частых переделок в связи с расширением энергосистемы, изменениями и добавлениями, происходящими в связи с этим в схемах электрических установок. В этом отношении диспетчерский щит резко отличается от щитов управления для отдельных электрических установок, в которых изменения происходят сравнительно редко и в которых поэтому достаточно предусмотреть соответствующий резерв на панелях. На диспетчерском щите суммируются изменения, происходящие на всех установках, и добавляется введение новых установок. Поэтому необходимо обеспечивать такую конструкцию диспетчерского щита, которая позволяла бы вносить эти изменения с малой затратой средств,

а главное, быстро и не прерывая эксплуатации всего щита. Это особенно важно в условиях СССР, где развитие энергосистем происходит очень быстро и где их схемы почти непрерывно изменяются.

В настоящее время еще нет установившегося типа конструктивного выполнения диспетчерских щитов, и в различных случаях эти щиты выполняются по-разному.

Простейшей формой диспетчерского щита является схема сети, натянутая на войлок или помещенная на пробковой основе. Для обозначения положения аппаратов служат булавки с цветными головками. Следующей конструктивной формой является деревянная доска с нарисованной на ней схемой сети и отверстиями в местах расположения коммутационной аппаратуры. В эти отверстия вставляются штифты с разноцветными головками или с разной формой головок, которые сигнализируют положение этой аппаратуры.

Эти конструктивные формы пригодны, однако, только для небольших диспетчерских щитов с ручной индикацией или mnemonicескими схемами с механическими индикаторами.

В больших диспетчерских пунктах, имеющих электрическую сигнализацию, диспетчерские щиты имеют более сложную конструкцию. Они выполняются обычно в виде металлического каркаса, с одной стороны которого укрепляются лицевые панели с mnemonicеской схемой, а с другой — располагается вся проводка и переходные клеммы. Лицевая часть щита выполняется из дерева, металла или стекла (в случае светящихся схем). Обычно щит состоит из ряда секций размерами около 1—2 м², лицевые панели которых могут сниматься и устанавливаться независимо друг от друга.

Размеры щита зависят в основном от сложности энергосистемы и размеров отдельных элементов mnemonicеской схемы. Высота щита определяется высотой помещения диспетчерского пункта и составляет максимум 3,5—4 м. При mnemonicеских схемах с механическими индикаторами, переставляемыми от руки, высота щита ограничивается 1,5—2 м, чтобы диспетчер мог достать индикаторы рукой.

Длину щита не следует выбирать большей 10—12 м, так как при большой длине щит теряет свою наглядность. Длинные щиты (длиной свыше 5—6 м) выполняют обычно овальными или полукруглыми, с тем чтобы приблизить отдельные части щита к диспетчерскому пульта, который помещается обычно против середины диспетчерского щита на расстоянии 3—4 м от него.

Для больших энергосистем размещение mnemonicеской схемы на щите при указанных ограничениях размеров представляет иногда значительные трудности, тем более, что размеры элементов mnemonicеской схемы могут быть уменьшаемы только до определенных пределов, так как при малых размерах элементов они с расстояния в 3—4 м становятся трудно различимыми или мало наглядными. Минимальными размерами отдельных элементов, при которых mnemonicеская схема получается еще достаточно ясно различимой, следует считать следующие размеры: для символов коммутационных аппаратов 25—30 мм, для линий 4—5 мм, для шин 5—7 мм.

При слепых схемах лицевая сторона диспетчерского щита выполняется из дерева или металлических листов (железных, алюминиевых), укрепляемых на каркасе щита. Мнемоническая схема накрашивается на щите или выполняется выпуклой. В последнем случае линии и символы вырезаются из меди, картона, эбонита и т. п. и прикрепляются к поверхности щита, образуя выпуклую схему.

В отношении быстроты и легкости переделок большие удобства представляют деревянные щиты, в которых при расширении схемы легко проделать новые отверстия для индикаторов и легко прикрепить новые части схемы. Старые отверстия в деревянных схемах легко заделывать, вставляя в них деревянные пробки. Лицевая сторона деревянных щитов выполняется обычно из фанеры. Чтобы она не коробилась и не трескалась, следует применять выдержанную первосортную фанеру. Так, например, на диспетчерском щите Мосэнерго применена фанера, состоящая из пяти слоев: среднего из сосны толщиной в 16 мм, двух слоев из ольхи толщиной в 8 мм и двух крайних слоев из дуба толщиной в 1,5 мм. Щит составлен из 12 отдельных частей размерами $1,5 \times 1$ м каждая, укрепленных на деревянном каркасе.

В некоторых диспетчерских пунктах лицевая поверхность щита выполняется из эбонита. Так, например, диспетчерский щит Нью-Джерсейской электрической компании в Америке выполнен из отдельных эбонитовых панелей размерами $1035 \times 1300 \times 19$ мм с матовой лакировкой поверхности. Панели имеют мнемоническую схему со световыми индикаторами и укреплены на стальной раме с деревянным порогом, поднимающим край доски на 455 мм от пола. Для того чтобы в случае необходимости расширения схемы избежать снятия панелей, в панелях заранее просверлены отверстия для световых индикаторов таким образом, что любая схема с любым расположением световых индикаторов может быть выполнена без просверливания новых отверстий. Незанятые отверстия заклеиваются полосками черной бумаги.

При выполнении диспетчерских щитов из железа основной трудностью является обеспечение простой переделки щита. В этом случае можно, так же как и в описанной выше конструкции с эбонитовыми панелями, заранее просверлить отверстия в необходимых местах, с тем чтобы при расширениях схемы не производить нового сверления.

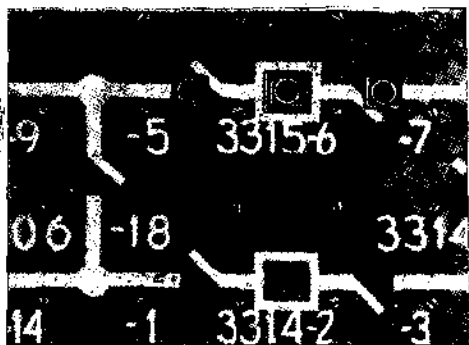
Значительно более интересен способ американской фирмы Строуджер, собирающей щиты из небольших планок, размерами 30×30 мм (фиг. 281). Эти планки укрепляются винтами на каркасных решетках, выштампованных из железных листов. Отдельные решетки имеют размеры около 1×1 м и укрепляются в свою очередь на металлическом каркасе, который составляет основу диспетчерского щита. Планки изготавливаются заранее с соответствующими изображениями элементов мнемонической схемы и индикаторами (фирма Строуджер применяет цветные и световые индикаторы).

Сооружение мнемонической схемы сводится при этом к сборке на решетке соответствующего количества заранее заготовленных планок

со стандартными элементами схемы. Места, не занятые мнемонической схемой, заполняются планками с гладкой поверхностью. При изменениях или расширениях планки с соответствующей части схемы снимаются и заменяются другими.

Помимо простоты переделок к достоинствам диспетчерских щитов фирмы Строуджер следует отнести их стандартность, допускающую массовое фабричное производство, которое для других типов щитов невозможно.

В щитах Строуджер каждая планка содержит только один элемент схемы. В некоторых случаях применяют более крупные планки, содержащие определенный комплекс элементов (например, генератор,



Фиг. 281. Диспетчерский щит фирмы Строуджер.

масляный выключатель, шинные разъединители и часть шин). Такой тип щита запроектирован Теплоэлектропроектом для диспетчерского пункта южной системы. Он требует меньшего числа панелей, но несколько стесняет свободу расположения мнемонической схемы.

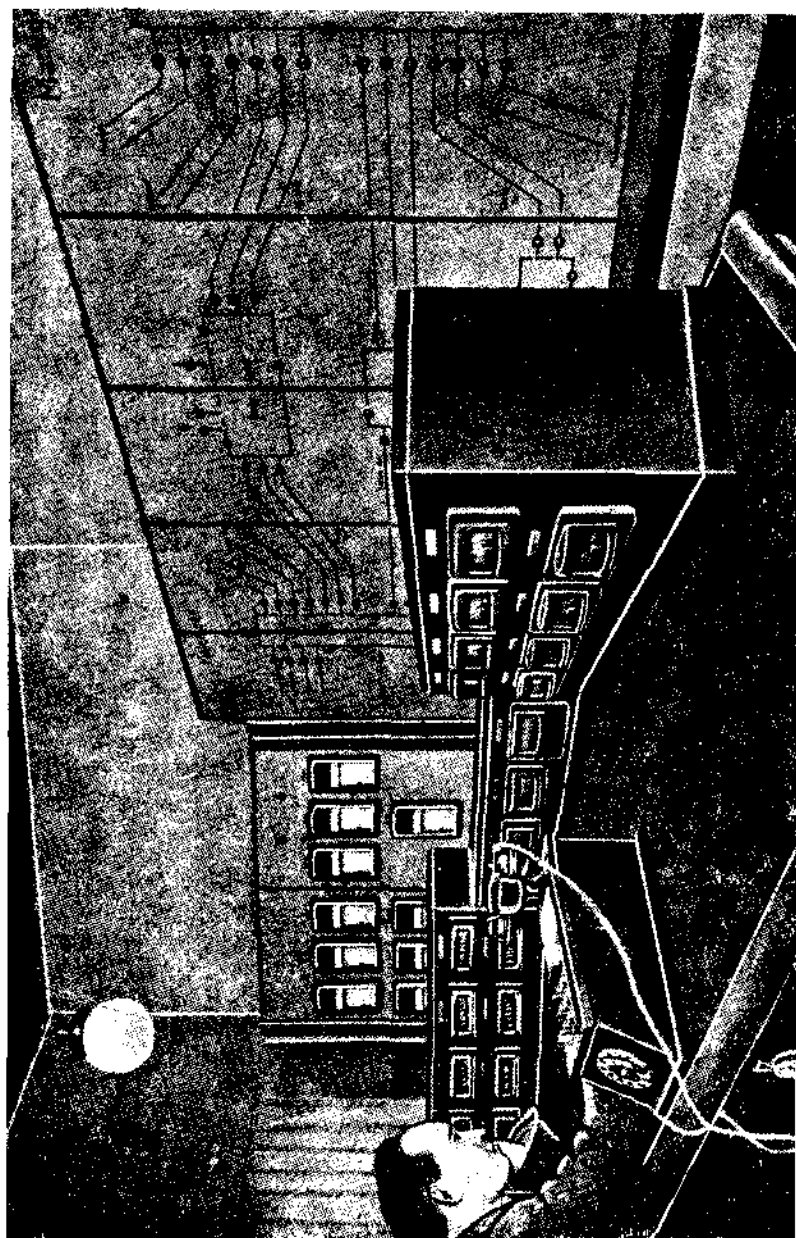
Перейдем к рассмотрению конструкции щитов со световыми схемами, которые выполняются двух типов: с металлической и со стеклянной поверхностью.

В первом типе поверхность щита выполняется из железа, в котором выштамповываются отверстия соответственно линиям схемы. Отверстия закрываются полосками из прозрачного материала, с задней стороны которых на специальном каркасе укрепляется осветительная арматура.

Диспетчерский щит такого типа изображен на фиг. 282 (диспетчерский пункт электроснабжения берлинских железных дорог). При небольших размерах диспетчерских пунктов в щитах такого типа часто, как это и показано на фиг. 282, командно-квитирующие ключи вставляются в схему диспетчерского щита.

Металлический щит со светящейся схемой неудобен для переделок. В этом отношении интересна конструкция, предложенная работниками Азэнерго (г. Баку), которые применили для щитов со светящейся схемой идею сборного щита фирмы Строуджер. Так же как и там, диспетчерский щит собирается из отдельных панелей, укрепляемых на сетчатом каркасе (фиг. 283). Панели имеют размеры 100×100 мм и выполняются из алюминия толщиной в 2 мм. В них выштамповываются отверстия, соответствующие стандартным элементам схемы.

Сетка, на которой укрепляются панели, осуществляется из полос листового железа толщиной в 1,25 мм, сложенных по две. В этих полосах через каждые 100 мм соответственно размерам панелей выштампованы до половины пазы, в которые по принципу паз

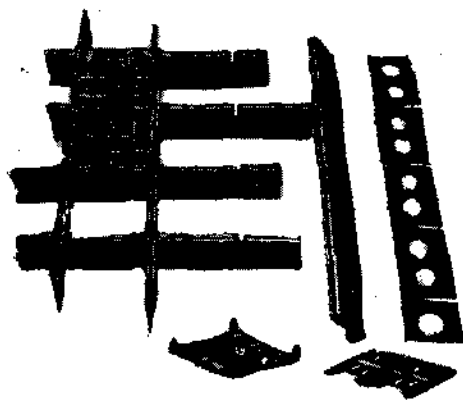


Фиг. 282. Диспетчерский щит и пульт сети берлинских железных дорог.

в паз вставляются полосы, идущие в вертикальном направлении. Этим путем образуется сетка со стороной в 100 мм. Крепление панелей на сетке производится путем вставления ножек, имеющих на панелях (см. панель в нижней части фиг. 283), в щели, образуемые двумя полосами железа, из которых состоит каждая сторона сетки. С задней стороны в сетке укрепляются отражатели с сигнальными лампочками. Отражатели представляют собой коробки из жести, которые набираются с задней стороны сетки в определенных комбинациях, соответствующих вырезам в панелях.

В качестве сигнальных лампочек-осветителей применяются трехвольтовые лампочки от карманного фонаря.

Щиты со стеклянной поверхностью отличаются от металлических только тем, что поверхность щита выполняется из стекла, которое закрашивается с задней стороны непрозрачной краской, за исключением мест, по которым проходят линии схемы. Сзади этих незакрашенных мест помещаются лампочки, освещающие линии схемы.



Фиг. 283. Укрепление панелей на диспетчерском щите Азэнерго.

Ниже в качестве примера описывается конструкция диспетчерского щита Донэнерго. Этот щит состоит из стеклянных панелей размерами $900 \times 900 \times 12$ мм, укрепленных на металлическом каркасе. Стекла панелей с передней стороны матовые, а с задней закрашены зеленой краской. По линиям и символам схемы стекло остается незакрашенным.

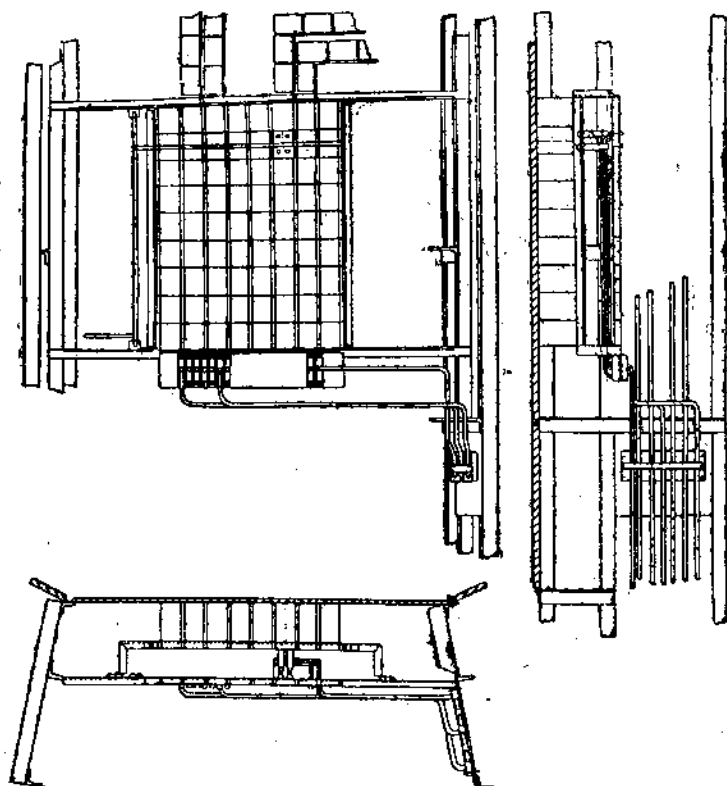
Каркас щита состоит из отдельных стояков, связанных между собой поперечинами. Стояки и поперечины выполнены из углового железа $40 \times 40 \times 5$ мм. Стояки располагаются перпендикулярно к плоскости щита на расстоянии около 1 м друг от друга, а поперечины идут горизонтально на расстоянии 600 мм друг от друга.

Для освещения схемы применяются лампы завода «Светлана», известные под названием «кlotиковые» (110 В, 5 Вт). Эти лампы помещаются в специальных осветителях, представляющих собой изогнутую коробку, которая дает на стекло отраженный свет. Осветитель имеет сзади крышку, в которую на $\frac{1}{4}$ входит кlotиковая лампа. Часть лампы снаружи покрывается амальгамой для лучшего отражения света. Вынесением значительной части лампы из коробки осветителя достигается лучшее ее охлаждение.

Осветители и патроны для лампочек крепятся на двух решетках, которые выполняются из полосового железа толщиной 1 и 3 мм. Стандартный блок состоит: из начала линии и линейного разъединителя, линейного масляного выключателя с шинными разъединителями, отрезков обеих систем шин с концами разъединителей, масляного вы-

ключателя с двумя шинными разъединителями, трансформатора и генератора. Размеры такого блока составляют 70×420 мм. Рама, охватывающая решетки блока, крепится к стойкам каркаса щита или к их поперечинам.

Вся проводка собирается внизу рамы на клеммную сборку, к которой присоединяются кабели, идущие к сигнальным реле, к командно-квитирующим ключам и к схеме зависимости (фиг. 284).



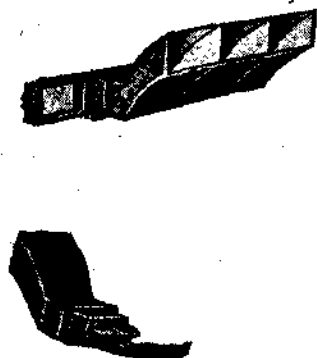
Фиг. 284. Крепление блока с осветителями и отражателями на щите Донэнерго.

При сооружении диспетчерских щитов с световыми схемами особое внимание необходимо уделять конструкции отражателей. Эти отражатели выполняются обычно так, чтобы на заднюю поверхность световой схемы от осветительной лампочки попадали только отраженные лучи. При выполнении этого условия удается обычно получить достаточно равномерное освещение линий и символов светящейся схемы, без бликов и затемненных частей.

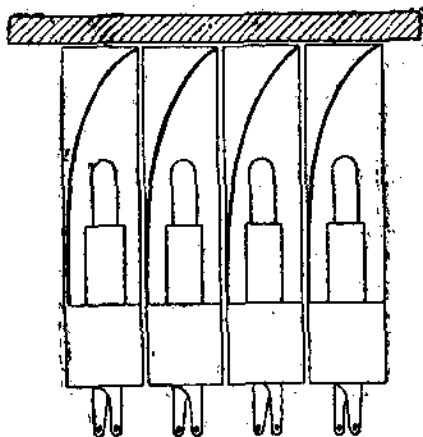
Внешний вид отражателей подобного типа в изготовлении фирмы Броун-Бовери изображен на фиг. 285. Эти отражатели имеют внутреннюю поверхность параболической формы, выкрашенную белым мато-

вым лаком. Они устанавливаются на специальных держателях, выполненных в виде решетки. С внешней стороны форма отражателей такова, что соседние отражатели плотно примыкают друг к другу, образуя освещенную полосу или площадь. Лампочки вставляются с задней стороны отражателей, что очень удобно для замены.

Другого типа отражатели для светящихся схем были разработаны Центральной лабораторией проводной связи (фиг. 286). В этих отражателях в качестве осветительных лампочек применяются коммутаторные телефонные лампочки завода «Светлана». Каждый осветитель



Фиг. 285. Отражатели фирмы Броун-Бовери.



Фиг. 286. Отражатель Центральной лаборатории проводной связи (ЦЛПС).

имеет только одну отражающую поверхность. Другими отражающими поверхностями служат передняя часть следующего осветителя и поверхность боковых стенок, между которыми вставляется осветитель.

В световых схемах большое значение имеет выбор типа осветительных лампочек. Лампочки, применяемые для световых схем, с одной стороны, должны давать достаточное количество света и иметь достаточную продолжительность горения, а с другой, должны иметь очень небольшие размеры, чтобы не увеличивать размера отражателей и самой схемы. В СССР нет специального типа лампочек для диспетчерских щитов; из лампочек, изготавливаемых для других целей, ни одна полностью не подходит. Данные некоторых из наиболее подходящих лампочек изготовления завода «Светлана» приведены в табл. 6.

Наиболее удобны лампочки № 2, 4 и 3, которые дают достаточно большую силу света и работают от напряжения, удобного для коммутации. Лампочки № 1 и 3, работающие от напряжения в 3,5 и 2,5 В, неудобны тем, что для них абсолютное падение напряжения в подводящих цепях должно иметь очень маленькую величину, чтобы не вызывать при изменении числа включенных лампочек сильных коле-

баний силы света. Подводящие цепи в этом случае приходится поэтому выполнять проводом большого сечения, что вызывает удорожание проводки и затрудняет монтаж. Нормальные коммутаторные лампочки (№ 5, 6 и 7) дают недостаточную силу света.

ТАБЛИЦА 6
Лампочки завода «Светлана»

№ по пор.	Наименование лампочки	Диаметр в мм	Напряжение в В	Сила тока в мА	Сила света в свечах	Число часов горения
1	Шарообразная (для карманного фонаря)	11	3,5	250	1	15
2	Шарообразная (специальный заказ)	11	12	150	1	100
3	Цилиндрическая диспетчерская	11	2,5	400	1	15
4	" " " "	11	18	100	0,5	100
5	" коммутаторная	9	12	90	0,05	300
6	" " " "	9	24	90	0,05	300
7	" " " "	9	30	90	0,05	300
8	" (по специальному заказу)	9	12	250	0,5	100

Применять нормальные осветительные лампочки напряжением 110 и 220 В не следует, так как это напряжение требует применения специальных реле и подводы нормальными осветительными проводами, что сильно осложняет монтаж и увеличивает размеры переходных полей. Кроме того, лампочки в этом случае имеют и значительно большие размеры.

Лампочки № 1, 2, 3, 4 и 8 дают достаточную силу света при включении на пониженное напряжение. Это значительно увеличивает срок их службы. Так, например, лампочка от карманного фонаря (№ 1 в табл. 6) при понижении напряжения до 2 В увеличивает свой срок службы по данным Азнерго до 1800 час.

Светящаяся схема имеет довольно значительное потребление энергии. По данным инж. Шлейхер¹ для освещения 1 м светящейся полосы схемы нужно около 40 W. Для больших диспетчерских пунктов, где длина линий схемы исчисляется сотнями метров (например, в диспетчерском пункте Мосэнерго длина линий составляет 100 м, а длина шин 35 м), мощность, потребная для освещения схемы, доходит до 8—10 kW. При напряжении в 12 В сила тока при этой мощности будет составлять 840 А. Коммутация такой силы тока представляет, естественно, некоторые трудности.

Некоторые трудности представляет также отвод тепла, выделяемого лампочками светящейся схемы. Для этого приходится обычно устраивать специальные вентиляционные установки, конструируя освеще-

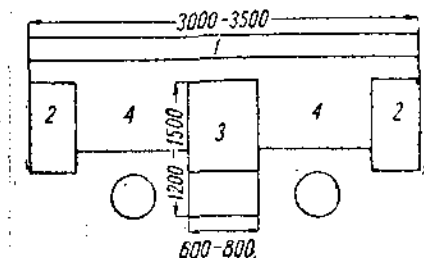
¹ M. Schleicher, Die elektrische Fernüberwachung und Fernbedienung für Starkstromanlagen, изд. J. Springer, 1932. Русский перевод изд. ОНТИ.

тители таким образом, чтобы лампочки, помещенные в них, достаточно хорошо охлаждались. В случае выполнения поверхности щита из стеклянных панелей крепление их к каркасу производится через эластичные прокладки, с тем чтобы давать возможность стеклу расширяться при изменениях температуры.

66. Диспетчерский пульт

Если в отношении конструктивного выполнения диспетчерских щитов никакого единообразия еще нет, то в отношении диспетчерских пультов такое единообразие можно считать в некотором отношении

уже достигнутым. Диспетчерский пульт, как правило, совмещает в себе следующие части:



Фиг. 287. Типичное расположение оборудования диспетчерского пульта.

1 — телеизмерительные приборы; 2 — телефонные аппараты и коммутаторы; 3 — командно-квартирующие ключи; 4 — место для писания.

а) панель с командно-квартирующими ключами установок телеуправления и с прочими элементами, на которые диспетчеру приходится воздействовать при его работе;

б) панель с телеизмерительными приборами;

в) аппаратуру связи (в некоторых случаях телефонный коммутатор);

г) некоторые сигнальные элементы;

д) место для писания;

е) различные вспомогательные материалы (отчетные книги, схемы, карты и т. п.).

Пульт выполняется обычно из дерева на деревянном или металлическом каркасе.

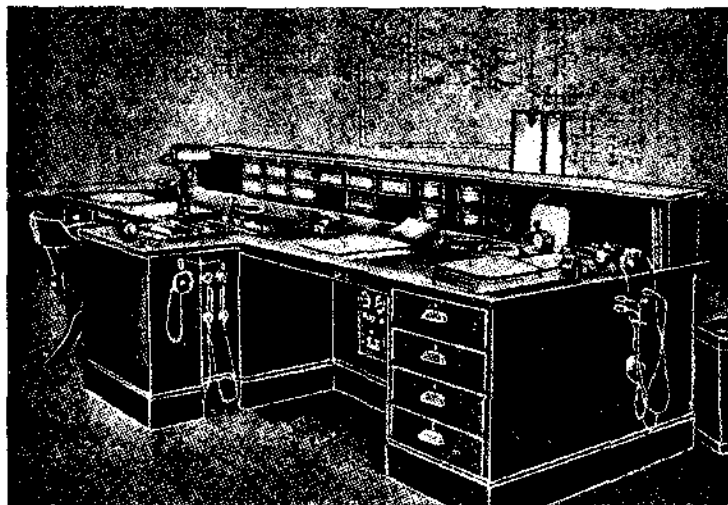
Обычно применяемое расположение оборудования диспетчерского пульта изображено на фиг. 287. Внешний вид типичного диспетчерского пульта изображен на фиг. 286.

Диспетчерский пульт выполняется обычно на два человека (диспетчера и его помощника). В средней части пульта располагаются все элементы, на которые диспетчеру и его помощнику приходится воздействовать при управлении энергосистемой (командно-квартирующие ключи, кнопки для управления схемой, пусковые кнопки и т. п.). Такое расположение этих элементов выгодно тем, что на них могут воздействовать как диспетчер, так и его помощник.

В передней части пульта на небольшой вертикальной панели располагаются телеизмерительные приборы. С обоих боков пульта располагаются приборы связи и коммутаторы. В некоторых случаях телефонные трубки располагаются сбоку средней части пульта, как это показано на фиг. 288. Между средней частью пульта и приборами связи оставляют свободные места для писания. Книги, схемы, карты и тому подобные подсобные материалы располагаются обычно в ящиках боковых тумбочек пульта.

Основные трудности при проектировании диспетчерских пультов представляет размещение элементов управления и квитирования и измерительных приборов.

Желательно, чтобы размеры поля с управляющими и квитирующими элементами были таковы, чтобы диспетчер и его помощник могли достать любой ключ или кнопку, не вставая с места. Это ограничивает размеры этого поля в длину 1 200—1 500 мм и в ширину 600—700 мм.



Фиг. 288. Диспетчерский пульт.

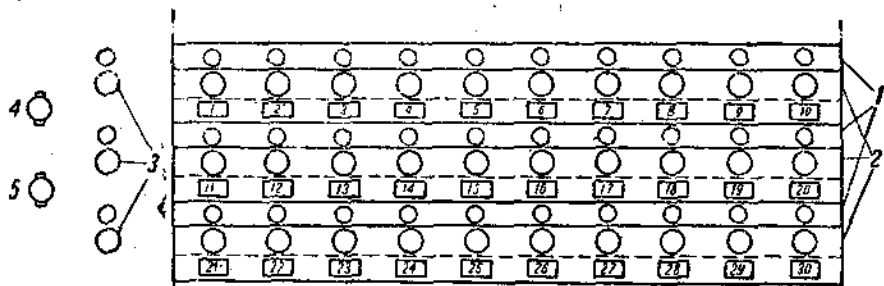
В больших диспетчерских пунктах на такой площади необходимо бывает разместить 600—800 командно-квитирующих ключей с сигнальными лампочками несоответствия, пусковые кнопки и общие кнопки для 15—20 устройств телеуправления, кнопки для управления схемой и т. п. Для этого командно-квитирующие ключи приходится значительно уменьшать в размерах. Специальные ключи для устройства телеуправления рассматривались при описании этих устройств (см. стр. 285). Эти ключи велики по своим размерам. Больше всего подходят ключи и кнопки телефонного типа. Стандартные типы этих ключей и кнопок, изготавливаемые в СССР, не подходят, однако, по своим схемам и конструкции. При применении для устройств телеуправления их приходится переделывать.

Наиболее подходящими по своим размерам являются телефонные переключатели кнопочного типа, смонтированные в виде рамок.

Стандартные рамки на десять переключателей, выпускаемые телефонным заводом «Красная заря», имеют размеры 11×275 мм. Переключатели, смонтированные в этих рамках, имеют, однако, только два переключающих контакта, в то время как для управления и квитирования нужно минимум четыре переключающих контакта. Поэтому при употреблении этих переключателей рамки приходится соединить по

две, переделывая одновременно головку переключателя так, чтобы она осуществляла сразу переключение четырех контактов.

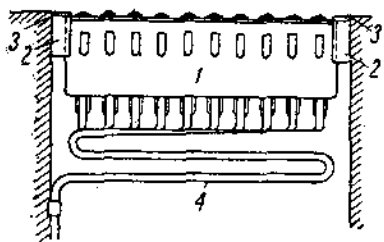
По типу рамок с переключателями заводом «Красная заря» выполняются и рамки с коммутаторными лампочками, которые могут быть применены в качестве лампочек несоответствия.



Фиг. 289. Расположение командно-квитирующих ключей и лампочек несоответствия на щите диспетчера.

1 — лампочки несоответствия; 2 — командно-квитирующие ключи, 3 — пусковые кнопки; 4 — главный ключ; 5 — ключ для включения и выключения освещения схемы.

Размещение рамок с переключателями и лампочками в поле диспетчерского пульта показано на фиг. 289. Рамки с переключателями и лампочками несоответствия монтируются в нужном количестве рядом друг с другом так, как это делается в телефонных коммутаторах. Рядом с рамками, сбоку их, размещаются пусковые кнопки и общие ключи.



Фиг. 290. Монтаж рамок с переключателями и лампочками.

1 — рамка; 2 — бруски с направляющими для рамок; 3 — накладки, удерживающие рамки; 4 — кабель.

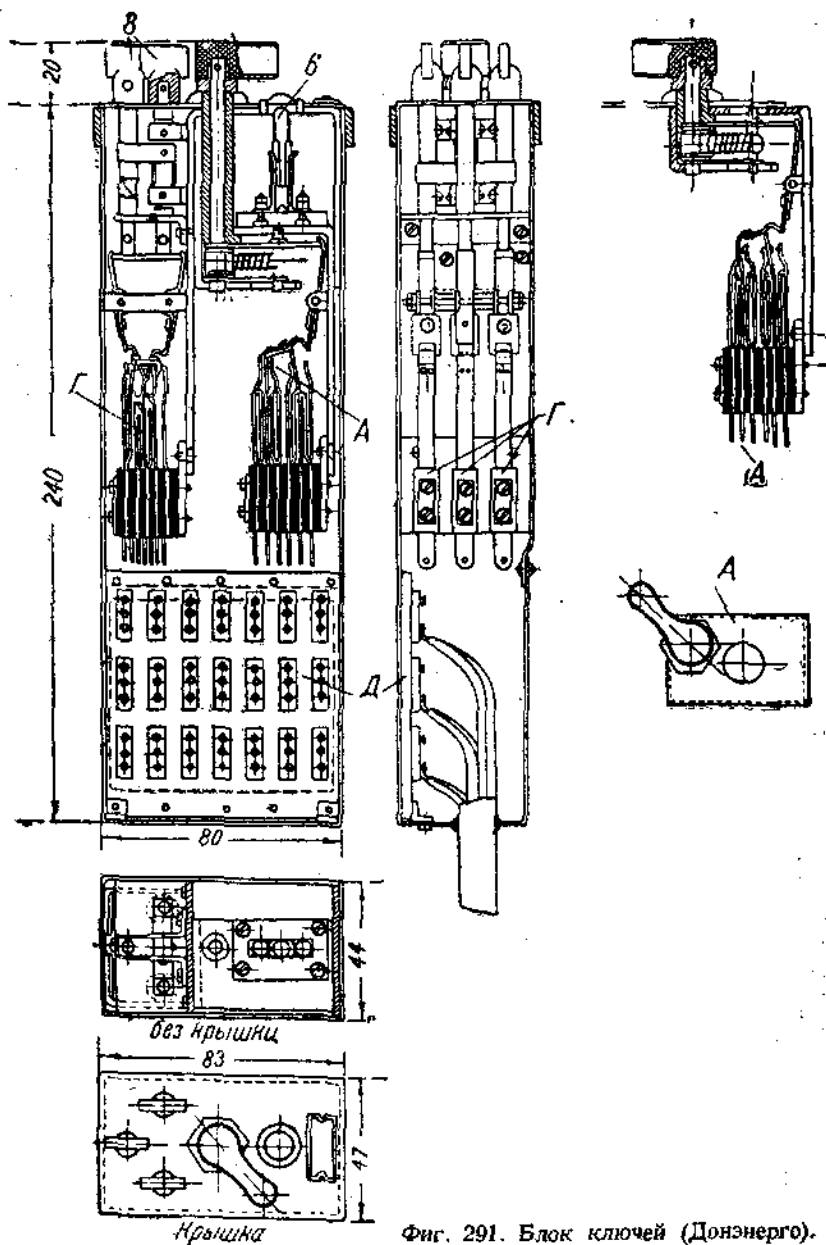
При таком размещении место, необходимое для управляющих и квитующих элементов десяти объектов, составляет всего 33×320 мм, что позволяет в указанных выше размерах поля командно-квитирующих ключей разместить ключи и лампочки для 700—720 объектов¹.

Провода, идущие от ключей и лампочек несоответствия на диспетчерский щит и к штативам устройств телеуправления, выводятся на переходное поле, помещаемое обычно в нижней части пульта с передней его стороны (под приборами телеизмерения).

Монтаж соединительных проводов производят обычно так, что рамки с ключами и лампочками могут быть вынуты с наружной стороны пульта без отпайки проводников (фиг. 290). Это облегчает осмотр контактов ключей или лампочек, регулировку их и т. п.

Для переходного поля применяются обычно рамки, употребляемые в телефонии.

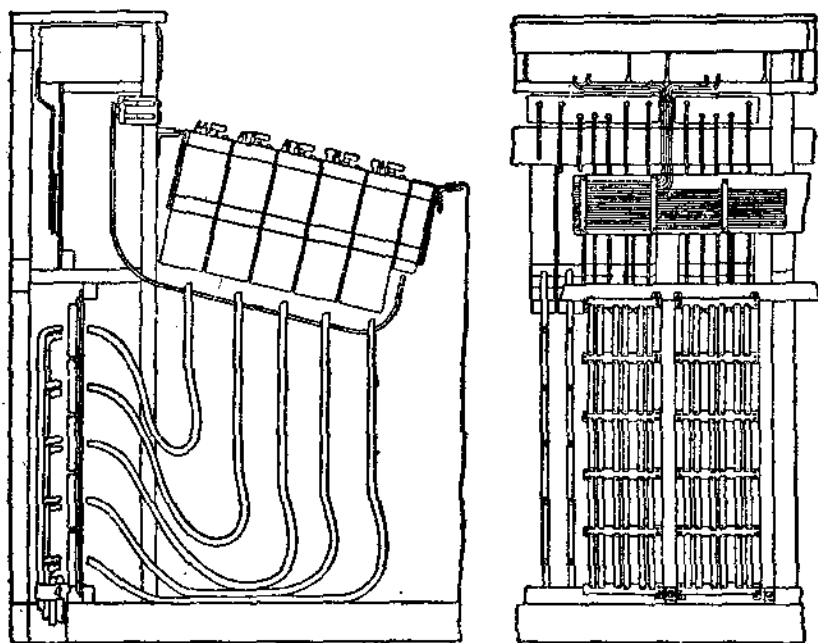
¹ Хотя стандартизация этих деталей, рекомендуемая автором, достаточно целесообразна, все же она еще не может считаться твердо установленной. Описываемые детали пульта следует рассматривать как рекомендуемые автором. (Прим. ред.)



Фиг. 291. Блок ключей (Донэнерго).

На фиг. 291 изображен блок ключей, сконструированный работниками Донэнерго, из деталей полуфабрикатов завода им. Козицкого. Этот блок включает командно-квитирующий ключ с лампочкой несоот-

ветствия для масляного выключателя и три ключа для разъединителей. В нижней части блока помещается щиток с контактами, к которому присоединяются проводники, подходящие к блоку. Размеры блока составляют $44 \times 80 \times 240$ мм. Монтаж блоков с ключами на диспетчерском пульте показан на фиг. 292. На этой же фигуре виден и монтаж приборов телеизмерения. Большие размеры ключей заставили Донэнерго отказаться от монтажа их в средней части пульта, и они



Фиг. 292. Монтаж ключей на диспетчерском пульте Донэнерго.

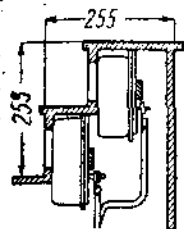
располагаются в передней части его, непосредственно под приборами телеизмерения. Такое расположение ключей неудобно тем, что часть ключей доступна только диспетчеру, а часть только его помощнику.

Измерительные приборы и указательные приборы телеизмерительных устройств располагаются, как уже говорилось выше, в передней части пульта в специальном выступе по всей длине пульта. В передней части выступа помещается панель, на которой размещаются приборы. Задняя часть выступа представляет собой ящик, который закрывает подводку к приборам. Применяется однорядное и двухрядное расположения приборов.

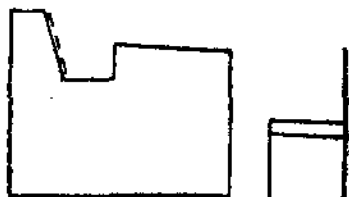
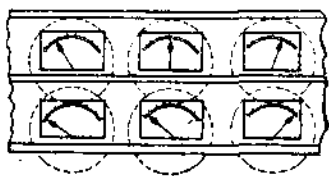
Высота выступа должна быть такой, чтобы не мешать диспетчеру и его помощнику видеть нижнюю часть диспетчерского щита. Это ограничивает число приборов, размещаемых на пульте, определенным пределом. При круглых приборах и длине пульта 3 000—3 500 мм на нем можно разместить в один ряд не больше 15—18 приборов. При прямоугольных приборах, типа указательных приборов для термпар

(завода «Пирометр»), имеющих размеры 280×135 , максимальное число приборов при однорядном расположении составляет 10—12.

При большом числе приборов их приходится располагать в два ряда. При прямоугольных приборах это не представляет затруднений, так как они имеют по высоте сравнительно небольшие размеры. При расположении в два ряда круглых приборов высота выступа пульта получается слишком большой, и для того чтобы диспетчер и его помощник могли видеть нижнюю часть диспетчерского щита, его приходится приподнимать над полом на значительную высоту.



Фиг. 293. Утопленный монтаж приборов телеизмерения.



Фиг. 294. Расположение приборов на пульте лондонского диспетчерского пункта.

Для того чтобы избежать этого, применяют утопленный монтаж приборов, при котором снаружи остается только шкала прибора (фиг. 293). Этот способ монтажа позволяет значительно сократить высоту выступа на диспетчерском пульте.

Интересен способ расположения измерительных приборов, примененный в одном из лондонских диспетчерских пунктов. Здесь нижний ряд приборов немного врезан в поверхность пульта, учитывая то, что глаза диспетчера находятся на некоторой высоте над поверхностью стола и углубленная в нее часть приборов будет ему видна (фиг. 294). Сама панель с приборами расположена несколько наклонно.

67. Размещение оборудования и общая компоновка диспетчерского пункта

Основные требования к оборудованию помещения диспетчерского пункта были уже сформулированы в начале главы.

В настоящем разделе мы остановимся, главным образом, на вопросах размещения и общей компоновки основного и вспомогательного оборудования, осветив одновременно коротко вопросы отделки помещения диспетчерского пункта.

Основные требования к размещению оборудования диспетчерского пункта можно сформулировать следующим образом:

а) Помещение, в котором происходит дежурство диспетчеров, должно быть освобождено от аппаратуры, производящей какой-либо шум.

б) Все указывающие и сигнализирующие приборы должны быть по возможности расположены в одном месте, с тем чтобы внимание

диспетчера не рассеивалось на несколько объектов наблюдения, а было сконцентрировано в одном пункте или, по крайней мере, в одном направлении.

в) Все органы, на которые диспетчеру приходится воздействовать, должны находиться в непосредственной близости от него и быть рас-

положены или оформлены так, чтобы диспетчер мог быстро найти необходимый для него орган.

Рассмотрим, как выполняются эти требования.

Для изоляции диспетчера от шума и стука, которыми сопровождается работа аппаратуры телемеханики и других устройств, устанавливаемых в диспетчерском пункте, вся эта аппаратура обычно сосредотачивается в специальном аппаратном помещении. В дежурном пункте остаются только части, воспроизводящие сигналы или показания, и



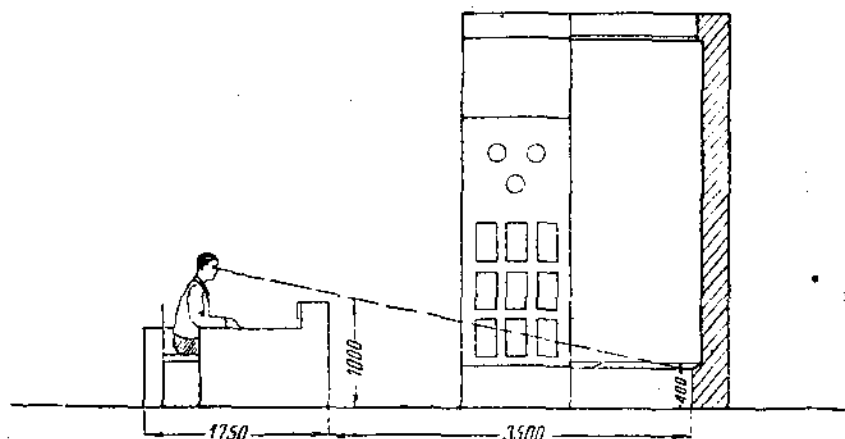
Фиг. 295. Диспетчерский пульт.

органы, требующие непосредственного воздействия диспетчера (указательные приборы устройств телеизмерения, сигнальные лампы устройств телеуправления, командно-квитирующие ключи и кнопки и т. п.). Размещение этой аппаратуры в зависимости от размеров диспетчерского пункта, числа контролируемых диспетчером аппаратов, сложности и величины энергосистемы производится тремя способами.

В небольших диспетчерских пунктах вся аппаратура размещается на диспетчерском пульте (фиг. 295). Органы управления, квитирования и сигнализации помещаются в этом случае совместно в виде ячеек, отдельно для каждого контролируемого аппарата. В некоторых случаях эти органы располагаются также на штативах устройств телеуправления.

С принципиальной точки зрения совместное расположение сигналов и органов управления не вызывает возражений, так как в этом случае внимание диспетчера сосредоточено в одном месте и все органы управления находятся у него под рукой. Это расположение при отсутствии на пульте схемы установок не дает, однако, достаточной наглядности, при размещении же управляющих ключей и органов сигнализации в схеме требует больших размеров пульта, что опять-таки понижает наглядность сигнализации и уменьшает удобство пользования органами

управления ее. В некоторых случаях применяют расположение сигнальных и управляющих элементов на щите. В этом случае, выигрывая благодаря лучшей обозреваемости и наглядности, устройство теряет в удобстве управления и квитирования, так как диспетчер при выполнении этих функций должен подходить к доске или переходить с одного места ее к другому. При большом количестве сигналов это расположение требует, кроме того, больших размеров щита.



Фиг. 296. Расположение пульта и щита в диспетчерском пункте.

В некоторых конструкциях сигналы размещаются в мнемонической схеме, на щите, а органы управления и квитирования отдельно от них, на пульте. Щит и пульт, однако, объединены вместе, причем органы управления и квитирования, относящиеся к данной установке, помещаются на пульте в той же секции, в которой на щите помещается схема данной установки.

Это расположение неудобно тем, что при большом числе контролируемых объектов и установок размеры щита и пульта получаются большими и диспетчер для управления и квитирования должен переходить с одного места на другое.

Поэтому уже при средних размерах управляемой диспетчером энергосистемы применяют раздельное расположение диспетчерского пульта и щита. На первый взгляд может показаться, что в этом случае расположение аппаратуры менее благоприятно, чем в описанных выше других способах, так как она располагается в двух местах. Этот недостаток является, однако, только кажущимся, так как при последнем размещении вся аппаратура расположена перед диспетчером в одном направлении и воспринимается им в одном плане (фиг. 296). Кроме того, диспетчерский щит, даже при больших размерах его, более легко обозреваем, так как диспетчер находится от него на некотором расстоянии.

Как видно из фиг. 296, при раздельном расположении щита и пульта щит приходится немного приподнимать над полом (на 300—400 мм),

так как верхний край пульта не позволяет диспетчеру видеть нижнюю часть щита.

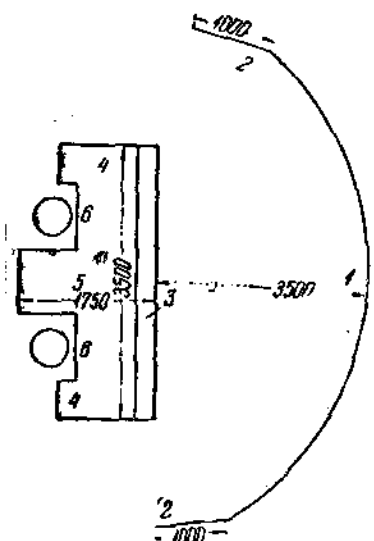
Типичное размещение основного оборудования диспетчерского пункта в случае раздельного расположения щита и пульта представлено на фиг. 297. На диспетчерском щите располагается mnemonic-ская схема с сигнализацией положения контролируемых объектов и электрического состояния сети. На диспетчерском пульте сосредотачиваются командно-квотирующие ключи с лампочками несоответ-

ствия, пусковые кнопки, ключи для включения освещения схемы и тому подобные органы управления, указательные приборы устройств телеизмерения, телефонные аппараты и коммутаторы. В некоторых случаях, чтобы разгрузить диспетчера от производства соединений, телефонный коммутатор устраивается в том же помещении отдельно, и все соединения диспетчера производит специальный телефонист. Однако и в этом случае все основные связи заводят обычно на диспетчерский пульт, предоставляя диспетчеру возможность самому соединяться с наиболее ответственными установками.

Обычно на диспетчерском пульте вследствие отсутствия места можно расположить сравнительно немного измерительных приборов. Поэтому там оставляют наиболее важные приборы, для остальных же приборов или устраивают телеизмерение по вызову (см. стр. 467) или же переносят их на специальные панели, которые устанавливаются с обеих сторон диспетчерского щита. На этих же панелях устанавливают и самопишущие приборы телеизмерительных устройств,

которые неудобно устанавливать на диспетчерском пульте вследствие их больших размеров.

Распорядительные и известительные сигналы и сигналы ненормального состояния располагаются или на специальных панелях или же на диспетчерском щите. При расположении на специальной панели все распорядительные и известительные сигналы концентрируются на одной или двух панелях, размещаемых сбоку диспетчерского щита. Конструктивно панель распорядительных и известительных сигналов выполняется обычно в виде ряда ячеек с световыми табло, которые освещаются при посылке или получении сигнала. Так, например, в диспетчерском пункте Азэнерго доска распорядительных и известительных сигналов состоит из ряда коробок размерами 100×200 мм, в которых помещаются осветительные лампочки. Наружные отверстия коробок



Фиг. 297. Расположение оборудования диспетчерского пункта.

1 — диспетчерский щит; 2 — панели для самопишущих приборов; 3 — указательные приборы; 4 — телефонные коммутаторы; 5 — командно-квотирующие ключи; 6 — места для писания.

закрываются прессшпановой крышкой с вырезанными надписями. Коробки монтируются на железной раме и с внешней стороны прикрыты общим матовым стеклом.

При расположении на диспетчерском щите распорядительные и известительные сигналы выполняются или в виде световых табло или же в виде надписей с соответствующей сигнальной лампочкой. Территориально они располагаются около схемы той установки, к которой они относятся.

Расположение распорядительных и известительных сигналов на щите более правильно, так как в этом случае внимание диспетчера не рассеивается на двух объектах наблюдения, а концентрируется только на диспетчерском щите. Как уже указывалось, исключения составляют сигналы ненормального состояния местного значения (сигналы о перегорании предохранителей, о выключении вспомогательных источников тока и т. п.), которые целесообразно помещать на отдельной панели, отделяя их от сигналов ненормального режима энергоустановок системы.

Сигналы о состоянии устройств телеуправления располагаются на пульте или на щите. Более целесообразно их размещение на щите.

В аппаратном помещении размещается обычно следующая аппаратура:

- а) приемные и передающие части устройств телеуправления;
- б) устройства местной сигнализации;
- в) приемники телеизмерительных устройств;
- г) зарядные агрегаты и щиты вспомогательных источников тока;
- д) контрольная аппаратура и столы для испытаний линий связи;
- е) аппаратура связи;
- ж) кросс.

Размещение и монтаж этой аппаратуры не представляют каких-либо особенностей. Устройства телеуправления, местной сигнализации и связи выполняются обычно в виде штативов такого же типа, как и в телефонных установках. Приемные устройства телеизмерения монтируются также на штативах. Размещение и монтаж этих штативов производится так же, как на телефонных станциях. Штативы устанавливаются с расстоянием в 0,75—1 м друг от друга. Подводка кабелей осуществляется или по полу в особых панелях или по потолку на особых подвесах. Последний способ удобен тогда, когда штативы с аппаратурой размещаются под диспетчерским пунктом (см. фиг. 299), так как в этом случае сокращается длина кабелей между ними и диспетчерским пультом и щитом.

Помимо основного оборудования, каковым являются диспетчерский щит, пульт и приборы телефонной связи, в диспетчерском пункте устанавливаются обычно еще целый ряд вспомогательных приборов. К их числу принадлежат быстропишущие регистраторы, буквопечатающий телеграф, приборы автоматической записи телефонных разговоров диспетчера и т. п.

Быстропишущие приборы применяются для записи аварийных режимов. Записывая с большой точностью и быстротой изменения напряжения, частоты и тока во время аварий, они служат для анализа причин аварий. Быстропишущие приборы в современном выполнении пред-

ставляют собой обычные регистрирующие приборы с очень легкой измерительной системой специальной конструкции и приспособлением, автоматически переключающим во время аварии на другую скорость движение бумажной ленты, на которой записываются показания прибора. Нормальная скорость ленты составляет, как и в обычных приборах, 20 мм в час, во время же аварии эта скорость увеличивается до 20 мм в секунду (т. е. в 3 600 раз). Переключение прибора на аварийную скорость происходит при помощи реле напряжения, присоединяемого к сети переменного тока через выпрямитель. При понижении напряжения во время аварий это реле воздействует на переключатель скорости и одновременно включает сигнальную лампочку и звуковой сигнал. При переключении на аварийную скорость включается специальный указатель времени, который наносит сбоку регистрирующей ленты более точный масштаб времени. Для того чтобы избежать искажения указаний времени при нормальном режиме и избежать излишнего расхода бумаги, лента прибора через 24 сек. после начала аварии (время, соответствующее по длине бумаги при нормальном движении ее целым суткам) переключается на нормальную скорость. Если нарушение нормального режима через 24 сек. не прошло, то лента включается еще на 24 сек. Быстропишущие приборы должны обладать большой быстротой включения и малым временем установки. Так, например, фирма Сименс гарантирует для своих быстропишущих приборов начало записи через 0,04 сек. после отклонения режима от нормального и время установки в 0,1 сек.

Быстропишущие приборы устанавливаются обычно в двух-трех узловых пунктах сети и в диспетчерском пункте. В последнем их целесообразней всего размещать на панелях самопишущих регистрирующих приборов.

Для облегчения анализа аварий и выяснения условий эксплуатации, в диспетчерском пункте иногда устанавливают расчетные схемы. Эти схемы, служащие для ориентировочных подсчетов, выполняют обычно на постоянном токе и представляют собой набор сопротивлений, эквивалентных активным и реактивным сопротивлениям и соединенных соответственно конфигурации сети, контролируемой диспетчером. Измеряя токи в отдельных точках схемы, диспетчер может быстро определить величины токов короткого замыкания, условия наиболее выгодного распределения активной и реактивной мощности и т. п.

Телепишущая машина (буквопечатающий телеграф) является одним из чрезвычайно удобных средств связи в том случае, когда необходима документация передаваемых распоряжений. Она представляет собой особый род телеграфного аппарата, в котором передача и прием производятся при помощи устройств, снабженных клавиатурой пишущей машинки. При нажатии на одну из клавиш передающего аппарата он автоматически набирает комбинацию импульсов, соответствующую определенной букве. Эта комбинация через вращающийся коллектор передатчика передается приемнику. Здесь импульсы воздействуют на механизм набора, который дешифрирует полученную серию импульсов и дает при помощи типового колеса оттиск переданной буквы или цифры на бумажной ленте, протягиваемой через аппарат. Одновременно пере-

данная буква отпечатывается на ленте передающего аппарата. Передача в обратном направлении производится таким же образом. Телепишущая машинка в диспетчерском пункте может быть соединена с рядом машинок, установленных на контролируемых установках, причем вызов соответствующей установки может осуществляться автоматически, посылкой определенной комбинации букв или цифр.

В диспетчерском пункте телепишущая машинка может устанавливаться или на диспетчерском пульте или же на специальном столике около пульта.

Звукозаписывающие приборы служат для записи разговоров диспетчера во время аварии, когда у него нет времени производить эту запись от руки. Одновременно эти аппараты позволяют контролировать действия диспетчера во время аварии.

В настоящее время существует большое число способов записи разговоров. Применяется запись разговоров на пленку, на валики, на проволоку и т. п.

Пуск звукозаписывающих аппаратов производится или от руки при помощи кнопок, помещенных на диспетчерском пульте, или же автоматически, от реле, реагирующего на падение напряжения в сети во время аварии. Звукозаписывающие аппараты размещаются обычно в аппаратном помещении.

В некоторых случаях, а особенно тогда, когда диспетчерский пункт помещается в одном здании с управлением энергосистемой, в нем устраивается небольшой трансляционный узел. При помощи этого узла диспетчер может вызывать в диспетчерский пункт необходимых ему лиц, сообщать об авариях лицам административно-технического руководства энергосистемы и т. п.

Помимо перечисленной выше вспомогательной аппаратуры в диспетчерском пункте обычно устанавливаются астрономические часы, часы контроля частоты, термометр, барометр и т. п. Размещение этой аппаратуры может происходить различным путем. Следует только указать, что такие приборы, как астрономические часы и часы контроля частоты, следует устанавливать так, чтобы диспетчер всегда имел их в поле своего зрения. Иногда эти приборы устанавливаются непосредственно на диспетчерском щите.

Монтаж и расположение зарядных устройств, щитов вспомогательных источников тока, самих источников тока, а также контрольной аппаратуры и столов для испытания линий ничем не отличаются от расположения и монтажа подобных же устройств в установках связи.

Несколько подробнее следует остановиться на расположении кросса. Кросс предназначается для осуществления различных переключений между аппаратурой, установленной в диспетчерском пункте. Такие переключения бывают необходимы при различных изменениях в схеме, перемене назначения или распределения сигналов, повреждении аппаратуры и включении вместо поврежденной резервной аппаратуры и т. п.

Кросс обычно представляет собой раму из углового железа или из железных труб, на которой размещены рамки переходных полей, проходящих и отходящих проводов и кольца для поддержки соединительных проводов.

Все соединения в кроссе выполняются гибким проводом, причем в противоположность монтажу на штативах, пульте и диспетчерском щите эти соединения делаются не жесткими (монтаж не сшивается). Благодаря этому в кроссе можно очень быстро сделать любое пересоединение.

Установка кросса необходима, главным образом, для устройств телеуправления и устройств связи, где имеется большое число соединений между отдельными частями установки и где эти части могут соединяться в различных комбинациях.

Встает вопрос, между какими частями устройств телеуправления и сигнальных устройств следует устанавливать кросс.

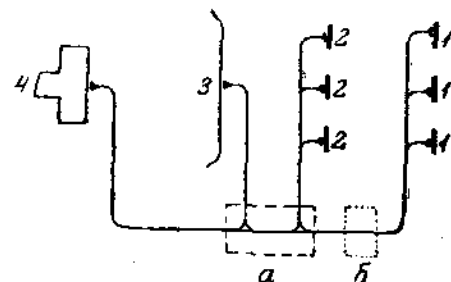
В большинстве случаев все части устройства, относящиеся к одной установке (элементы, осуществляющие передачу, сигнальные элементы для различного рода сигналов и т. п.), располагаются на одном штативе. Для больших диспетчерских пунктов такое расположение неправильно. Как указывалось выше, большой диспетчерский пункт должен рассматриваться как единая комплексная установка. При расположении всех элементов устройств телеуправления на отдельных штативах для каждой контролируемой установки оборудование диспетчерского пункта разбивается на ряд отдельных не связанных друг с другом частей. Это влечет за собой необходимость иметь в каждой такой части отдельный резерв на случай расширения и повреждений. Каждый из отдельных штативов должен быть рассчитан на полное расширение числа сигналов и иметь соответствующий резерв площади. Такая разбивка неправильна и с чисто принципиальной точки зрения. Как уже указывалось при рассмотрении устройств телеуправления, элементы передачи и приема и элементы исполнения этих устройств выполняют совершенно различные и в значительной мере не зависимые друг от друга функции. Элементы передачи и приема связаны, главным образом, с линейными цепями, и выбор их определяется свойствами линий связи. Элементы же исполнения связаны с местными цепями, и выбор их определяется родом сигналов и требованиями к воспроизведению их, причем каждый из этих элементов связан с соответствующим сигналом в помещении дежурного диспетчера (на диспетчерском щите или сигнальных панелях). Эти элементы можно отнести поэтому скорее к оборудованию диспетчерского щита, чем к оборудованию устройства телеуправления. В соответствии с этим принципиально более правильным является раздельный монтаж элементов передачи и приема и элементов исполнения на различных штативах. При таком монтаже для каждого рода сигнала выделяется отдельный штатив, на котором располагаются исполнительные элементы ряда контролируемых установок. Элементы приема и передачи располагаются также на отдельных штативах.

Такой способ расположения при больших размерах диспетчерского пункта и большом числе телемеханических устройств имеет ряд преимуществ. Монтаж каждого штатива, содержащего или исполнительные реле для какого-либо одного сигнала или элементы передачи и приема, производится по стандартной схеме, что, с одной стороны, облегчает производство монтажа, а с другой стороны, упрощает об-

служивание установки и отыскание повреждений. Каждый штатив с исполнительными элементами выполняется на определенное число сигналов. При увеличении числа сигналов используются резервные реле соответствующих сигналов, пока штатив не будет использован полностью. После этого устанавливается новый штатив с дополнительными реле для этого сигнала. Таким образом резерв сконцентрирован здесь для всех контролируемых установок в одном месте. В случае повреждения какой-либо из частей установки поврежденные реле заменяются резервными при помощи простой перекрестировки.

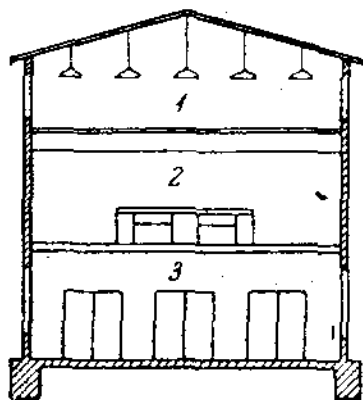
Вернемся теперь к рассмотрению вопроса о месте включения кросса. На фиг. 298 изображена скелетная схема соединений отдельных частей устройства телеуправления в диспетчерском пункте.

Наиболее удобно пропускать через кросс все провода, расположив его в месте, помеченном на фиг. 298 буквой *а*. В этом случае отдельные элементы, входящие в устройство телеуправления, можно пересоединять любым образом.



Фиг. 298. Скелетная схема соединений в диспетчерском пункте.

1 — штативы с линейными реле; 2 — штативы с сигнальными реле; 3 — диспетчерский щит; 4 — диспетчерский пульт; *а* и *б* — варианты установки кросса.



Фиг. 299. Расположение помещений диспетчерского пункта.

1 — верхний свет; 2 — дежурный пункт; 3 — аппаратное помещение.

ствующим ему командно-квотирующим ключом на пульте и сигнальным реле на штативе исполнительных элементов.

В заключение остановимся на некоторых требованиях к помещению диспетчерского пункта и в первую очередь на требованиях, предъявляемых к его освещению. Освещение диспетчерского пункта должно быть таким, чтобы прямые лучи света не попадали на диспетчерский щит.

Источники света должны быть расположены так, чтобы не давать бликов по поверхности диспетчерского щита.

Этим требованиям больше всего удовлетворяет верхний свет, который в большинстве случаев и применяется в диспетчерских пунктах. В некоторых случаях, в особенности при диспетчерских щитах со световыми схемами или световой сигнализацией, для устранения колебаний освещенности диспетчерские пункты снабжают только искусственным освещением.

Наибольшая равномерность освещения получается в диспетчерском пункте при устройстве стеклянного потолка с распределением дневного света и искусственных источников света поверх этого потолка, как это изображено на фиг. 299.

Аппаратное помещение лучше всего располагать под диспетчерским помещением (фиг. 299), так как в этом случае значительно сокращается длина соединительных кабелей. Кабели при этом следует, как уже говорилось выше, монтировать на потолке аппаратного помещения.

ГЛАВА XV

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНИЙ СВЯЗИ

68. Основные вопросы использования линий связи

Линии связи являются одной из важнейших частей устройств телемеханики. Характер располагаемой линии связи, ее длина, сопротивление и другие свойства определяют возможность применения того или иного типа телемеханических устройств и предъявляемые к последним требования. В свою очередь телемеханические устройства предъявляют свои особые требования к линиям связи, которые определяют возможность и диктуют способы использования этих линий. При тех расстояниях, которые имеют место в районных энергосистемах, стоимость линий связи играет часто доминирующую роль. Поэтому большое значение имеет возможность многократного использования линий связи, т. е. применение таких способов передачи, которые на одной паре проводов дают возможность получить несколько каналов связи для различного рода передачи, в частности, для работы по этим проводам нескольких телемеханических устройств одновременно с телефонной связью.

Работа телемеханических устройств сводится в основном к передаче по линии связи или тока или импульсов тока. Существует большое количество способов, при помощи которых можно осуществлять эту передачу как по отдельным проводам, так и при многократном использовании линий связи. Задача состоит лишь в том, чтобы из существующего большого числа способов выбрать для каждого условия наиболее экономичный и наиболее технически целесообразный и надежный.

Большое значение в отношении использования линий связи и надежности передачи играет род линий связи, которые могут быть предоставлены для работы устройств телемеханики. В этом отношении в энергосистемах могут быть использованы три рода линий связи:

- а) кабельные линии;
- б) воздушные линии;
- в) линии высокого напряжения.

Наиболее надежны кабельные линии связи, которые лучше всего защищены от всяких внешних воздействий и влияний, как, например, обрывы, короткие замыкания, повреждения изоляции, влияющее воздействие линий высокого напряжения, атмосферные разряды и т. п. Современная техника дальней связи идет в направлении каблирования линий. За границей этот процесс каблирования зашел уже далеко и, например, в Америке и в Западной Европе почти вся дальняя связь осуществляется по кабелям. В СССР каблирование линий связи только начинает вводиться. Несомненно, что в энергосистемах со значительными расстояниями передачи, где линии связи более, чем где-либо в другом месте, подвержены влияющему действию линий высокого напряжения, применение кабельных линий связи является наиболее целесообразным. Однако дороговизна и дефицитность кабелей связи не позволяют рассчитывать на массовое каблирование линий связи в энергосистемах. Поэтому на ближайший отрезок времени придется считаться с наличием в энергосистемах в большинстве случаев воздушных линий связи и с использованием для работы телемеханических устройств именно этих линий.

Недостатком кабельных линий связи является значительно большее сопротивление их по сравнению с воздушными. Кроме того, эти линии дают большее затухание (уменьшение амплитуды передаваемого тока) при передаче переменным током высокой частоты, что затрудняет многократное их использование. Это, однако, не играет большого значения, так как увеличение числа проводов в кабельных линиях обходится гораздо дешевле, чем в воздушных линиях связи.

Передача по воздушным линиям может производиться как постоянным, так и переменным током низкой и высокой частоты. Выполняются они с бронзовыми, биметаллическими и железными проводами. В энергосистемах встречается преимущественно последний тип линий.

Недостатком воздушных линий связи является большая подверженность их внешним воздействиям, что уменьшает надежность передачи.

Передача по линиям высокого напряжения производится токами высокой частоты одновременно с передачей энергии промышленной частоты. Этот вид передачи, являющийся своеобразным многократным использованием проводов линий электропередач, получил в настоящее время широкое распространение в энергосистемах, главным образом, вследствие значительно большей надежности высоковольтных линий по сравнению с отдельными линиями связи и вследствие этого значительно более надежной связи по ним. Провода линий электропередач используются как для одиночной передачи, так и многократно.

В СССР линии высокого напряжения используются пока исключительно для передачи телефонных разговоров и начинают использоваться для защиты линий.

Рассмотрим возможности использования линий связи в энергосистемах.

Все многообразные случаи применения устройств телемеханики в энергетических системах можно разбить с точки зрения условий их работы по линиям связи на следующие группы:

- 1) крупные городские сети;
- 2) участки районных сетей и небольшие распределительные сети;
- 3) большие районные сети и межрайонные соединения.

Условия работы устройств телемеханики в городских сетях характеризуются расстояниями передачи порядка 5—10 км. В большинстве случаев для работы устройств телемеханики могут быть предоставлены отдельные жилы в телефонных кабелях, принадлежащих энергетическому объединению, или кабельные жилы, арендованные у городской телефонной сети. В небольших городах возможно также предоставление воздушных линий. В случае отсутствия тех и других могут быть использованы прямые телефонные связи при одновременной работе по этим линиям устройств телемеханики и телефона. Как правило, и в этом случае для работы устройств телемеханики может быть выделен непрерывный металлический канал связи. Так как в подавляющем большинстве крупных городов Советского союза имеются развитые телефонные сети, то наиболее частым случаем будет предоставление для работы устройств телемеханики отдельных каналов связи.

Применение устройств телемеханики в сетях небольших районов характеризуется расстояниями порядка 20—40 км.

Работа устройств телемеханики в сетях небольших районов будет происходить или по специальным линиям связи или чаще по линиям, уже занятым для телефонного разговора.

Наличие свободных проводов связи, предназначенных специально для устройств телемеханики, здесь довольно вероятно. Эти провода могут быть подвешены на уже существующих линиях связи между подстанцией и центром района или местным диспетчерским пунктом. При наличии телефонной линии подвеска на тех же опорах нескольких проводов для работы устройств телемеханики не вызовет значительных затрат и во многих случаях будет дешевле, чем применение приборов многократного использования линий. Однако возможность получения свободных проводов для устройств телемеханики все же ограничена.

Работа устройств телемеханики в условиях районных сетей характеризуется большими расстояниями, доходящими до 100—150 км. Как правило, отдельные провода связи для работы устройств телемеханики здесь предоставлены быть не смогут, так как постройка отдельных линий связи даже при подвеске их по столбам уже существующих линий связи будет стоить очень дорого. Поэтому работа устройств телемеханики в районных сетях будет происходить в основном по существующим линиям связи, уже занятым телефоном, или же при помощи передачи высокой частотой по линиям высокого напряжения.

Степень обеспеченности диспетчерской службы в энергосистемах средствами связи по положению об оперативном управлении энергосистемами должна быть следующая:

- а) с районными электростанциями, местными диспетчерскими пунк-

тами и важнейшими подстанциями магистральной сети: одно основное средство связи и два резервных;

б) с прочими подчиненными центральному диспетчеру установками: одно основное средство связи и одно резервное.

Для местных диспетчерских пунктов и дежурных пунктов районов электросети:

а) с подстанциями магистральной сети, находящимися в пределах района и не имеющими права самостоятельного разговора с центральным диспетчером энергосистемы: одно основное средство связи и одно резервное;

б) с блок-станциями района и ответственными подстанциями распределительной сети: одно основное средство связи и одно резервное;

в) с прочими подстанциями, дежурными пунктами, линейными будками и т. п.: одно основное средство связи и одно резервное.

Таким образом в энергосистемах имеется достаточное количество линий связи, которые могут быть использованы для работы устройств телемеханики при невозможности представления для них специальных линий.

Это использование вполне осуществимо потому, что провода связи в энергосистемах обычно очень мало загружены и используются максимум для одного телефонного разговора, в то время как современная техника многократного использования линий связи позволяет, как мы увидим дальше, получить на одной паре проводов несколько телефонных и несколько телеграфных передач.

К сожалению, указанного выше резерва линий связи в большинстве существующих в СССР энергосистем еще нет, и обеспеченность их линиями связи еще недостаточна. Поэтому при телемеханизации энергосистем в отношении использования линий связи в настоящее время приходится сталкиваться с целым рядом трудностей.

Существующие способы многократного использования линий связи можно разделить по применяемым в них принципам на две основные группы.

В первой группе передача измеряемых величин и сигналов происходит одновременно, т. е. по проводам линии связи в один и тот же момент времени протекают токи от передатчиков различных устройств. Задача приборов многократного использования линий связи заключается в том, чтобы разделить эти токи в месте приема и передачи таким образом, чтобы, с одной стороны, исключить взаимное влияние отдельных передатчиков и приемников друг на друга и, с другой стороны, рассортировывать в месте приема эти токи так, чтобы ток, предназначенный для одного какого-либо приемника, не попал в другой приемник. Для осуществления одновременной передачи применяются либо методы комбинации проводов, либо различного рода токи, например, постоянный и переменный ток, либо один и тот же род тока, но имеющий различные свойства, например, различную силу, различную частоту и т. п.¹

¹ Эти методы являются наиболее универсальными и получили наибольшее распространение.

Во второй группе методов многократного использования линий связи передача отдельных величин производится друг за другом, т. е. по проводам линии связи в один и тот же момент времени протекает ток только от одного передатчика. Такие методы передачи мы будем в дальнейшем называть псевдомногократной передачей.

В псевдомногократной передаче различают два способа передачи. В первом из них скорость передачи больше, чем время установки реагирующих органов приемных приборов, т. е. различные передачи следуют друг за другом настолько быстро, что приемные приборы не успевают почувствовать перерывов в передаче. Для осуществления такой передачи применяются либо механические переключатели, вращающиеся с большой быстротой синхронно и в фазе друг с другом, либо электрические переключатели, основанные на использовании свойств многофазного переменного тока.

Во втором способе псевдомногократной передачи скорость переключения меньше, чем время установки отдельных приборов, и поэтому приемные приборы на моменты передачи от других величин приходится затормаживать или блокировать в том положении, которое они заняли в момент последней передачи. Переключение отдельных передач происходит или автоматически при помощи механических переключателей или же от руки. В последнем случае диспетчер может обычно вызывать любую передачу по желанию в любом порядке. Этот способ применяется, например, для получения телеизмерений по вызову, о котором упоминалось в первой части настоящей книги.

Более подробно способы многократного использования линий связи будут описаны в следующих разделах, причем перед рассмотрением этих способов предварительно рассматривается использование линий связи для одиночной передачи.

69. Использование линий связи для одиночной передачи

Как уже говорилось выше, работа телемеханических устройств может быть сведена к передаче по линии связи или тока, изменяющегося по своей силе, или же импульсов с переменной частотой или продолжительностью. При передаче постоянным током абсолютные величины сопротивления проводов линии связи и сопротивления изоляции не играют большого значения, так как они могут быть соответствующим образом учтены при расчете устройства. Значение имеет только величина колебаний этих сопротивлений, которая вносит дополнительную погрешность при передаче.

Изменение величины сопротивления проводов линии связи имеет значение только в некомпенсированных устройствах телеизмерения. Однако и здесь погрешности, вносимые этими изменениями, могут быть значительно уменьшены путем включения дополнительного сопротивления (см. стр. 57). В компенсированных и импульсных устройствах телеизмерения и в устройствах телеуправления изменение сопротивления проводов линии связи в пределах, обычных для нормальной эксплуатации, не оказывает влияния на передачу.

Изменение сопротивления изоляции, наоборот, оказывает большое влияние почти во всех случаях передачи. В устройствах телеизмерения, работающих по методам интенсивности, изменение сопротивления изоляции вызывает изменение утечки тока в линии и дополнительные погрешности. В импульсных устройствах телеизмерения и в устройствах телеуправления это может быть причиной неустойчивой работы приемных реле.

При передаче импульсами постоянного тока в качестве приемных реле применяются или нейтральные телефонные реле или поляризованные. Последние благодаря большей чувствительности пригодны для более длинных линий и больших частот импульсов.

Передача переменным током более затруднительна, чем передача постоянным током. Затруднения, которые имеют место при этой передаче, заключаются, с одной стороны, в менее благоприятных условиях передачи по линии связи и, с другой стороны, в трудности получения чувствительных приемных устройств. Линия связи, как и всякая другая линия передачи, может быть представлена в виде ряда последовательно включенных индуктивностей и сопротивлений и параллельно включенных емкостей, соответствующих по своей величине индуктивностям, сопротивлениям и емкостям отдельных единичных участков линии. Как известно, передача по такой цепи сопровождается уменьшением амплитуды (затуханием) передаваемого тока и напряжения и сдвигом по фазе, причем величина уменьшения амплитуды и сдвига по фазе различны для различных частот передаваемого тока.

Затухание тока и напряжения и изменение фазы их особенно значительны при высоких частотах и длинных линиях передачи. Особенно велико затухание при передаче по кабельным линиям связи, в которых емкость между проводами и сопротивления проводов значительно больше, чем в воздушных линиях.

Для уменьшения затухания применяется так называемое «пупинизирование» линий связи, которое заключается в том, что в провода через определенные промежутки вставляются дроссельные катушки, которые компенсируют емкость между проводами. Пупинизирование может быть произведено, однако, только для определенной полосы частот.

Следует указать, что явления, присущие передаче переменным током, имеют место отчасти и при передаче импульсами постоянного тока, так как импульсы постоянного тока могут быть рассматриваемы как переменный ток с основной частотой, равной числу импульсов в секунду, и рядом гармоник высших частот. Все эти частоты при передаче по линии связи испытывают различные затухания. Благодаря этому импульсы постоянного тока после передачи по линии связи получаются несколько сглаженными. Это обстоятельство заставляет уделять определенное внимание частотным характеристикам линий связи и при передаче постоянным током. В частности, при передаче импульсами постоянного тока необходимо, чтобы линия связи пропускала помимо токов основной частоты минимум также и токи третьей гармоники, с тем чтобы импульсы могли сохранить свою прямоугольную форму.

При передаче переменным током большое значение имеет соответствующий выбор постоянных приемных цепей. Кажущееся сопротивление этих цепей должно быть по возможности ближе к волновому сопротивлению линии связи. В противном случае в месте перехода линии связи в приемную цепь может возникнуть явление так называемой «рефлексии», при котором это место действует как новый источник напряжения, внося соответствующие искажения в передачу.

В отношении приемных реле передача переменным током значительно менее благоприятна, чем передача постоянным током. Реле переменного тока, как известно, обладают значительно меньшей чувствительностью, чем реле постоянного тока, и имеют большее потребление. Так как магнитный поток в реле переменного тока, следуя за изменениями тока, проходит через каждые полпериода через нуль, то якорь реле стремится вибрировать в такт частоте переменного тока. Для того чтобы избежать искрообразования на контактах реле, приходится принимать меры для устранения этой вибрации. Эти меры обычно заключаются в том, что на якорь реле заставляют действовать второй магнитный поток, получаемый от короткозамкнутого витка или второй обмотки реле и сдвинутый по отношению к первому на 90° . В последнее время в качестве приемных реле для переменного тока стали применяться и получать большое распространение электромагнитные реле постоянного тока с выпрямителями.

Вследствие затухания переменного тока при передаче его по линии, особенно в случае применения высоких частот, в месте приема приходится устанавливать усилители, которые усиливают ток, получаемый с линии, до величины, необходимой для действия приемных реле. Обычно при усилении тока он одновременно и выпрямляется для того, чтобы в качестве приемных реле можно было применять более чувствительные электромагнитные реле постоянного тока.

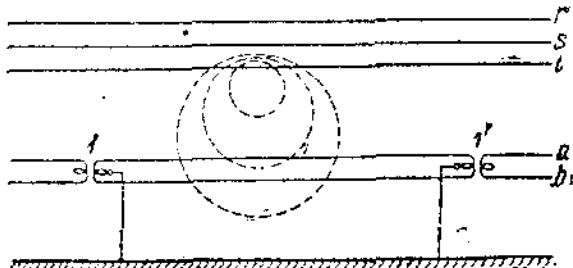
Существенное значение при передаче по линиям связи играют внешние воздействия на линию, которые, с одной стороны, могут оказывать мешающее действие на передачу, искажая ее, а с другой стороны, могут привести к повреждению аппаратуры, присоединенной к линии. Меры защиты от мешающих действий на линии связи с точки зрения действия самой аппаратуры были уже частично рассмотрены выше при описании устройств телеуправления и телеизмерения. Поэтому в настоящем разделе мы остановимся только на причинах возникновения мешающих действий и способах защиты от появления на линии потенциалов, опасных для целостности аппаратуры, приключенной к линии.

Наиболее опасные мешающие влияния в линиях связи возникают в тех случаях, когда линии связи проходят на некоторой длине параллельно и на близком расстоянии от линий сильного тока. Линии сильного тока оказывают при этом на линии связи, помещающиеся в их электрическом и магнитном полях, электромагнитное и электростатическое влияние.

Сущность электромагнитного влияния заключается в том, что ток, проходящий по проводам силовоточной линии, образует вокруг них магнитное поле, силовые линии которого, пересекая провода сла-

бого тока, индуктируют в них электродвижущую силу. Так как провода линии связи расположены не на одинаковом расстоянии от проводов линии сильного тока, то число сцеплений магнитного потока с каждым из этих проводов будет неодинаковым и в шлейфе линии связи будет образовываться э. д. с., равная разности э. д. с., индуцированных в каждом из проводов в отдельности (фиг. 300). Величина этой э. д. с. зависит от величины тока, протекающего по линии сильного тока, и от величины коэффициента взаимной индукции проводов линии связи и проводов сильного тока.

Электродвижущая сила, наведенная в линии связи, может достигать больших значений при появлении больших токов в проводах линии сильного тока, что может иметь, например, место при коротком замыкании. Особенно опасны случаи коротких замыканий через землю. В этом случае благодаря большой площади шлейфа: провода линии связи — земля, в обоих проводах линии связи индуктируются по отношению к земле большие потенциалы, которые могут вызвать пробой изоляции аппаратуры, присоединенной к линии связи, и повреждение этой аппаратуры. Это особенно опасно в тех случаях, когда аппаратура, присоединяемая к линии, по своей конструкции не может быть выполнена с большой изоляцией, как это имеет, например, место в устройствах телеизмерения, работающих по методам интенсивности, в которых указательные приборы присоединяются непосредственно к проводам линии связи.



Фиг. 300. Влияние линий сильного тока на линии слабого тока.

r, s, t — провода сильного тока; a, b — провода линии связи; t и t' — разделительные трансформаторы.

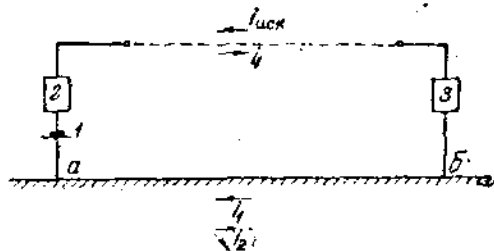
Для защиты линий связи от влияющих напряжений со стороны линий сильного тока провода линии связи через определенные участки обычно перекрещиваются друг с другом. При таком перекрещивании, э. д. с., индуцируемые в каждом из проводов, сравниваются, и разность их, действующая в шлейфе линии связи, становится близкой к нулю. Для уменьшения потенциалов, индуцируемых на проводах линии связи по отношению к земле, применяют разделение линии связи на участки посредством промежуточных трансформаторов с хорошо изолированными друг от друга обмотками. Средние точки обмоток трансформаторов заземляются, как показано на фиг. 300, и через них наведенные на проводах связи потенциалы отводятся в землю. Помимо этого на концах линии связи устанавливают разрядники, которые при повышении напряжения в линии связи сверх установленной величины отводят его в землю. Секционирование линии связи посредством трансформаторов возможно, конечно, только в случае передачи переменным током. При передаче постоянным током, когда

секционирование невозможно, величина влияющих напряжений на линии связи является фактором, ограничивающим возможность применения такого способа передачи.

В кабелях электростатическое влияние устраняется благодаря наличию металлической оболочки, экранирующей жилы кабеля, электромагнитные же влияния вследствие той же причины ослабляются и получаются при тех же условиях, что и для воздушных линий, в четыре-пять раз меньше.

В заключение остановимся на мешающих влияниях при использовании однопроводных линий связи.

Один из примеров возникновения мешающих влияний в этом случае изображен на фиг. 301. На этой фигуре изображена схематично телемеханическая установка, в которой одним из проводов служит



Фиг. 301. Влияние токов в земле.

i_1 — ток телепередачи; i_2 — ток в земле; $i_{иск}$ — искажающий ток.

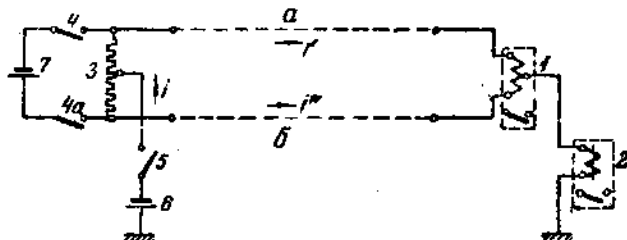
$= i_2 r_{аб}$, которое дает в цепи телепередачи добавочный искажающий ток i_1 . При особо неблагоприятных условиях, например, в случае протекания через землю тока короткого замыкания в больших энергосистемах искажающий ток может достигнуть такой величины, что не только исказит передачу по линии связи, но может даже вызвать и повреждения приемной или передающей аппаратуры.

Следует указать, что и в нормальных условиях, особенно в городах с интенсивным трамвайным движением, разница потенциалов земли в различных точках может достигать 10—15 В, что при небольших силах тока, циркулирующих в линии телепередачи, может оказывать большое искажающее влияние. Вообще применения земли в качестве обратного провода следует избегать, так как помимо указанного выше влияния разности потенциалов, могущей быть между ее отдельными точками, сопротивление цепи телепередачи в этом случае колеблется вследствие непостоянного сопротивления земли и поляризации заземляющих пластин.

70. Методы комбинации проводов

Сущность многократной передачи при помощи комбинации проводов заключается в том, что на существующих проводах создаются новые цепи при помощи включения проводов в различных комбинациях. Одна из таких схем представлена на фиг. 302. В этой схеме

одна из передач осуществляется по проводам *a* и *b*, а другая передача — через оба эти провода вместе и землю. Для приема передач служит реле 1 и 2. Реле 1 имеет две одинаковые обмотки, которые включены между проводами *a* и *b*. Реле 2 включено между средней точкой обмоток реле 1 и землей. При включении контактов 4 и 4а, служащих для передачи первой величины, реле 1 получает ток, который проходит в обеих его обмотках в одном и том же направлении, и притягивает свои контакты. При включении контакта 5, который служит для передачи второй величины, ток от источника тока *b*, проходя по сопротивлению 3, разветвляется по обоим проводам и протекает по обмоткам реле 1 в противоположных направлениях, благодаря чему это реле остается в покое, срабатывает же реле 2. При одновременном замыка-



Фиг. 302. Одновременная передача при помощи комбинации проводов.

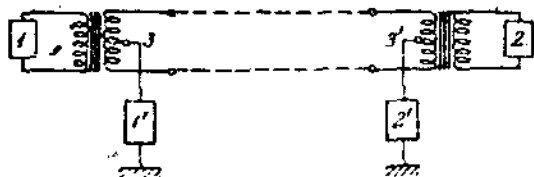
1 — приемное реле первой передачи; 2 — приемное реле второй передачи; 3 — сопротивление; 4 и 4а — передающие контакты первой передачи; 5 — передающие контакты второй передачи; *b* и 7 — источники тока.

нии контактов 4, 4а и 5 токи в линиях накладываются друг на друга, и оба приемных реле срабатывают одновременно. Таким образом передача обеих величин осуществляется одновременно, не влияя друг на друга.

Для правильной работы схемы необходима, как это можно видеть из самого принципа действия, полная симметрия проводов, линий, обмоток реле 1 и обеих половин сопротивления 3, так как при отсутствии симметрии токи i' и i'' , протекающие через реле 1, при включении контакта 5 не будут равны друг другу, и магнитные потоки, пересекающие обе половины его обмоток, не будут уравновешены. Схема фиг. 302, как и все схемы, применяющие передачу через землю, применима только в тех случаях, когда передача измеряемой величины не зависит от сопротивления цепи передачи, так как величина этого сопротивления может изменяться благодаря колебаниям сопротивления земли, заземлителей и явлению их поляризации. Кроме того, как уже указывалось выше, при передаче через землю благодаря различным потенциалам точек заземления в цепи могут возникать добавочные напряжения, которые могут искажать передаваемые величины.

Другая схема, использующая метод комбинации проводов, изображена на фиг. 303. Эта схема носит название схемы Пикара или фантомной схемы. Добавочная цепь образуется здесь при помощи включения по концам линии двух промежуточных трансформаторов

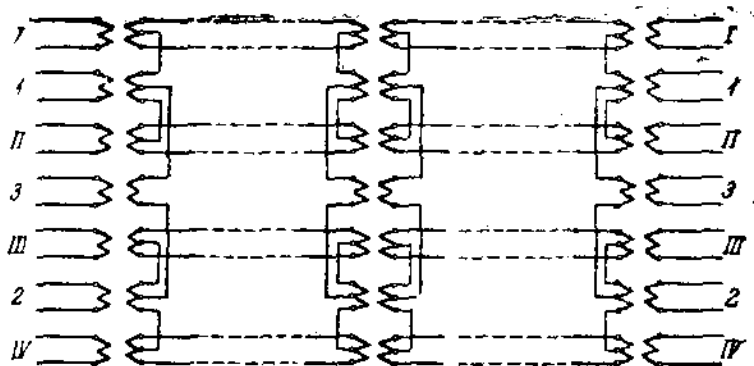
с коэффициентом трансформации 1:1, у которых выведены средние точки обмоток. Одна из величин, подлежащих передаче, передается через оба трансформатора и оба провода, другая же величина передается через средние точки вторичных обмоток трансформатора. Принципиально эта схема действует аналогично схеме фиг. 302. Так же как и в предыдущей схеме, здесь необходима точная симметрия проводов, так как в противном случае магнитные потоки, вызванные токами вторичных обмоток трансформаторов, не будут уравниваться, и передача второй величины будет оказывать влияние на первую. Особенно важно иметь точную симметрию проводов при передаче по основному каналу связи телефонного разговора, а через средние точки трансформаторов — импульсов, так как в этом случае даже небольшая несимметрия проводов и обмоток трансформатора вызывает мешающее действие на телефонный разговор. Передача по схемам фиг. 302 и 303 может осуществлять-



Фиг. 303. Схема Пикара (фантомное включение).

1 и 1' — передатчики; 2 и 2' — приемники; 3 и 3' — промежуточные трансформаторы.

ся и без использования земли. В этом случае для обратного провода нужно иметь вторую линию, по которой можно осуществлять передачу третьей величины. Таким же путем можно на трех парах проводов получить пять передач, на четырех парах проводов — семь передач и т. д. (фиг. 304).



Фиг. 304. Получение фантомных цепей на нескольких проводах.

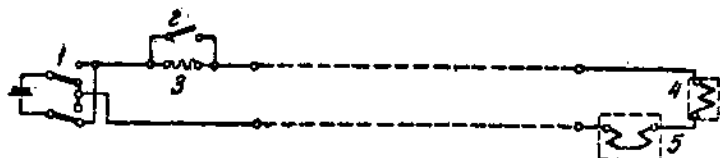
I, II, III, IV — основные провода; 1, 2, 3 — фантомные цепи.

Передача через искусственный канал связи согласно рассмотренным схемам фиг. 302 и 303 может производиться как постоянным током, так и переменным, как методами интенсивности, так и импульсными методами. К достоинствам их относится простота и небольшая стоимость, к недостаткам же — сравнительно ограниченные возможности в отношении количества передач.

71. Методы двойной передачи

Метод двойной передачи, нашедший себе широкое применение в телеграфии, позволяет производить передачу двух величин по одной паре проводов в одну сторону (диплексная передача), передачу двух величин во встречных направлениях (дуплексная передача) или комбинацию обеих этих передач (квадруплексная передача).

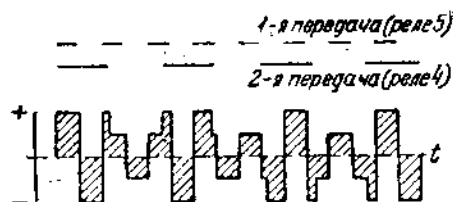
Схема диплексной передачи изображена на фиг. 305. Одна из величин передается изменением полярности тока, посылаемого по линии, а другая — изменением величины этого тока. Изменение поляр-



Фиг. 305. Диплексная передача.

1 — передающие контакты первой передачи; 2 — передающие контакты второй передачи; 3 — сопротивление; 4 — нейтральное реле; 5 — поляризованное реле.

ности тока производится переключением контактов 1, а изменение величины тока контактом 2, при включении которого шунтируется сопротивление 3, включенное последовательно в линию. В качестве приемных реле служат: нейтральное реле 4, которое отзывается на изменении величины силы тока, и поляризованное реле 5, которое отзывается на изменении направления тока. На фиг. 306 изображено



Фиг. 306. Протекание тока по линии при диплексной передаче.

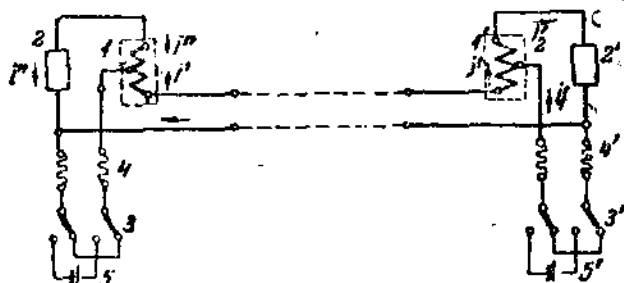
протекание тока по линии при диплексной передаче, из которого ясно виден принцип передачи. Нейтральное реле 4 находится в этой схеме в довольно тяжелых условиях. С одной стороны, оно должно срабатывать и отпускать не при появлении и полном исчезновении тока, а только при изменении его силы, с другой же стороны, оно

должно оставаться включенным, если при закороченном сопротивлении 3 происходит изменение полярности тока и магнитный поток реле изменяет свое направление.

Схема дуплексной передачи приведена на фиг. 307. Здесь для одновременной передачи двух величин в обоих направлениях служат дифференциальные реле, которые действуют только при получении импульсов с другого конца линии. При включении же тока в месте их расположения они на этот ток не отзываются.

При переключении контактов 3 влево ток от батареи 5, проходя через сопротивление 4, поступает в среднюю точку обмотки дифференциального реле 1. В этой точке ток разветвляется по двум направлениям. Одна часть тока i'' поступает в верхнюю часть обмотки и через экви-

валентную линию 2 возвращается обратно к источнику тока. Другая часть i' проходит через нижнюю половину обмотки реле 1, направляется в линию связи и поступает в реле 1'. Сопротивление эквивалентной линии 2 подбирается таким образом, чтобы токи i' и i'' были равны друг другу. Так как эти токи направлены в обмотках реле 1 в противоположных направлениях, то реле 1 остается в отпущенном состоянии. В реле 1' ток i' , доходя до средней точки этого реле, также разветвляется. Один из этих токов i'_1 проходит через сопротивление 4, контакты 3' и через другой провод возвращается к источнику тока 5, другой же ток i'_2 проходит через эквивалентную линию 2' и также возвращается к источнику тока 5. Как можно видеть из фиг. 307, токи i' и i'_2 в обмотках реле 1' направлены в одну и ту же сторону, поэтому реле срабатывает. Такое же действие получается и в случае включения



Фиг. 307. Дуплексная передача.

1 и 1' — дифференциальные приемные реле; 2 и 2' — искусственные линии; 3 и 3' — контакты передатчиков; 4 и 4' — сопротивления; 5 и 5' — источники тока.

контактов 3' от батареи 5'. При одновременной передаче в обоих направлениях токи накладываются друг на друга и срабатывает как реле 1, так и реле 1'.

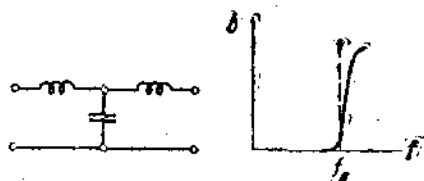
Следует указать, что здесь, так же как и в схемах с комбинацией проводов, необходима точная подгонка сопротивлений 4 и 4' и постоянных искусственных линий 2 и 2'. Эти постоянные должны точно соответствовать постоянным действительной линии, причем соответствие должно иметь место не только в установившемся состоянии, но также и в моменты переходных режимов, так как при отсутствии его при включении линии соответствующее реле может получить кратковременный импульс и сработать.

Описанные схемы могут применяться, как это видно из самого принципа их действия, только для импульсной передачи. Эта передача может происходить как постоянным, так и переменным током, причем в последнем случае в качестве приемного элемента используется не реле, а специальная мостовая схема.

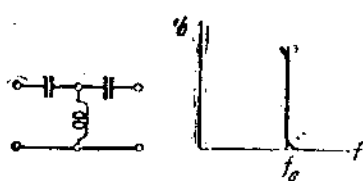
72. Многократная передача

Описанные выше схемы дают сравнительно малое использование линий. По двум проводам здесь можно осуществлять максимум две передачи. Значительно большие возможности дает передача токами

различной частоты. Этот метод давно уже применяется в многократной телеграфии и телефонии и заключается в том, что каждая передача осуществляется с помощью одной определенной несущей частоты, которая на приемной стороне отфильтровывается от других частот и направляется в соответствующее приемное реле. Таким образом задача приборов многократного использования линий здесь заключается, с одной стороны, в собирании токов различной частоты в месте передачи и направлении их в линию связи и, с другой стороны, в рассортировке этих токов в месте приема и направлении их в соответ-

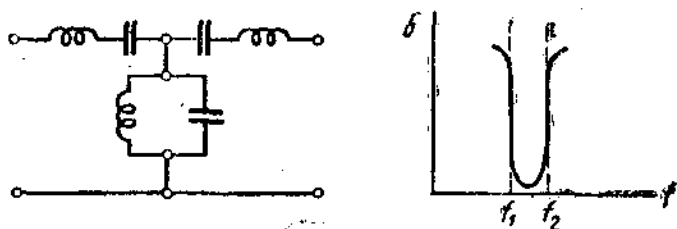


Фиг. 308. Фильтр низкой частоты.



Фиг. 309. Фильтр высокой частоты.

ствующие передатчики. Эти задачи осуществляются при помощи так называемых полосных фильтров, которые представляют собой комбинацию реактивных катушек и конденсаторов.



Фиг. 310. Полосный фильтр.

Как известно из теории переменных токов, схема, состоящая из последовательно или параллельно включенных реактивных катушек и конденсаторов, обладает некоторой предельной частотой, при которой сопротивление ее резко изменяет свою величину. Цепь, изображенная на фиг. 308, в которой реактивные катушки включены последовательно в линии, а конденсаторы параллельно, имеет некоторую предельную частоту

$$f_0 = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}}.$$

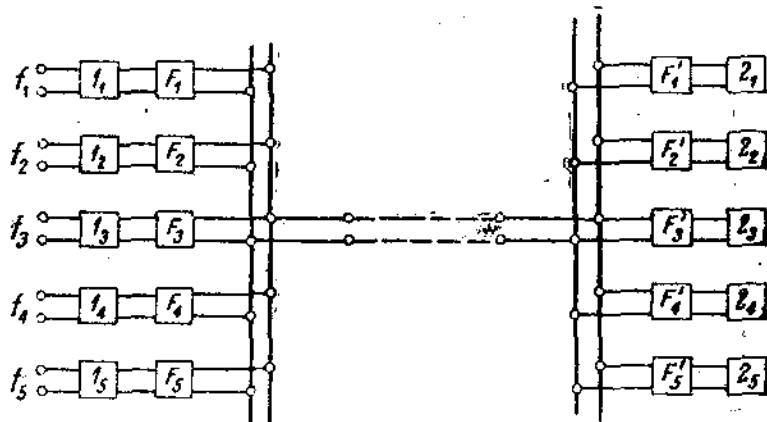
Для токов, частота которых ниже f_0 , сопротивление этой цепи мало, а для токов, частота которых выше f_0 , сопротивление очень велико.

Схема, изображенная на фиг. 309, наоборот, пропускает все токи выше предельной частоты и дает сильное затухание всех токов, которые ниже этой частоты.

Полосный фильтр состоит из комбинации этих двух схем (фиг. 310). Такой фильтр пропускает только определенную узкую полосу частот

между частотами f_1 и f_2 , все же остальные частоты при прохождении через него сильно затухают.

Принципиальная схема многократного использования линий при помощи передачи различными частотами изображена на фиг. 311. В местах передачи и приема имеется ряд полосных фильтров F_1, F_2 и т. д., которые производят отсортировку отдельных частот. В месте передачи эти фильтры необходимы, во-первых, для того, чтобы очистить частоты при передаче их на линию от гармоник, содержащих другие частоты, и, во-вторых, для того, чтобы избежать взаимного влияния отдельных передающих цепей друг на друга. В месте приема фильтры



Фиг. 311. Схема многократной передачи.

$\Gamma_1 - \Gamma_6$ — передатчики; $F_1 - F_6$ — фильтры передающей стороны; $F'_1 - F'_6$ — фильтры приемной стороны; $Z_1 - Z_6$ — приемники.

применяются для того, чтобы отфильтровать отдельные частоты из приходящей с линии смеси частот и направить их в соответствующие передатчики.

Схема одной из цепей передачи изображена на фиг. 312. Ток от генератора переменного тока определенной частоты проходит через контакты и фильтр передатчика и попадает на общие шины, с которых вместе с другими частотами через выходной трансформатор поступает на линию. В месте приема смесь частот, получаемых с линии, проходя через входной трансформатор, попадает сначала в усилитель, а затем поступает на общие шины, к которым приключены фильтры приемника. Пройдя через фильтры приемника, отфильтрованная частота попадает в усилитель и выпрямитель, из которого она поступает уже на приемное реле.

В качестве генераторов для получения токов различных частот в устройствах многократной передачи служат или генераторы с электронными лампами или же специального типа генераторы, дающие одновременно несколько частот на отдельные выводы. Внешний вид такого генератора на 12 частот в пределах от 420 до 1 740 Hz фирмы Сименс изображен на фиг. 313. Ротор этого генератора состоит из вала,

на котором насажены колеса с различным числом зубцов, которые, проходя мимо обмоток статора, дают токи различных частот.

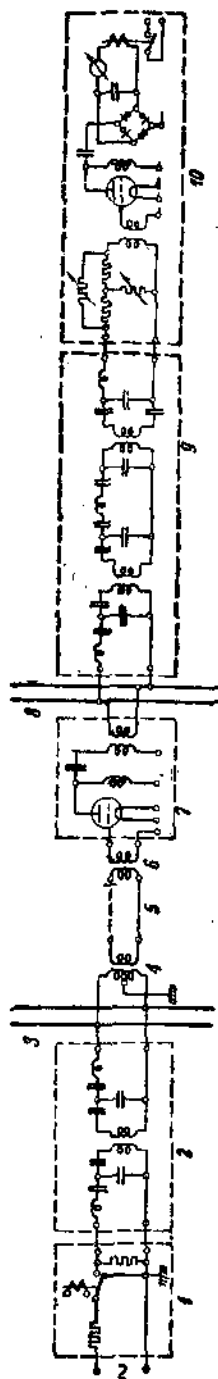
Мощность, даваемая таким генератором, составляет всего несколько ватт. Так как фильтры настроены на определенные частоты, то число оборотов генератора нужно поддерживать очень точно. Это осуществляется при помощи специальных регуляторов, которые воздействуют на мотор постоянного тока, приводящий во вращение вал генератора.

Регулятор поддерживает число оборотов мотора и генератора с точностью до 0,2%.

Описанный выше способ передачи получил название передачи несущими частотами, так как частоты, передаваемые по линии, сами переносят посылаемые сигналы.

Применяется и другой способ передачи, который основан на том, что самая передача производится током высокой частоты, на который накладывается ток низкой частоты, причем передача знаков производится таким образом, что наложенная частота то присутствует, то нет. На высокую частоту можно наложить несколько низких частот и, таким образом, при помощи одной основной высокой частоты передавать по линии несколько знаков. В месте приема наложенные частоты отфильтровываются и поступают каждая в свое приемное устройство. Этот способ получил название передачи «модулированными частотами» и применяется, главным образом, в высокочастотной телефонии.

Количество передач, которое можно осуществить описанным выше способом по двум проводам, определяется теми пределами частот, на которые можно построить полосные фильтры и теми полосами частот, которые требуются для самой передачи. Распределение частот по различным видам передач в настоящее время стандартизировано. В СССР для устройств связи применяется следующее распределение частот:



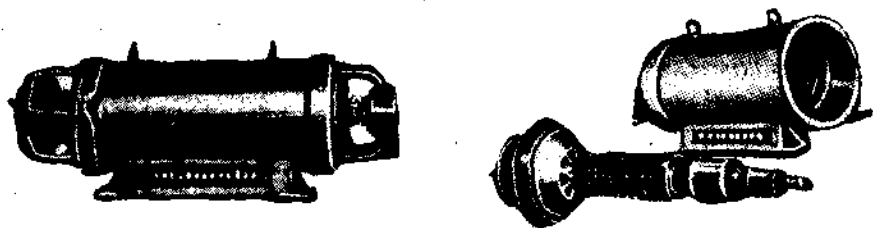
Фиг. 312. Схема одной из цепей многократной передачи.

1 — передатчик; 2 — фильтр передатчика; 3 — общие шины передающей стороны; 4 — выходной трансформатор; 5 — линия; 6 — входной трансформатор; 7 — фильтр приемника; 8 — общие шины приемной стороны; 9 — усилитель; 10 — выпрямитель и приемное реле.

От	0 до	80 Hz	...	подтональное дуплексное телеграфирование
"	150	2 400	"	тональное телефонирование
"	3 200	5 200	"	фотосвязь (бильд-телеграф)
"	6 000	9 000	"	надтональное телеграфирование (три двухсторонних передачи)
"	10 400	40 000	"	высокочастотное телефонирование (три телефонных разговора)

В некоторых случаях вместо тонального телефонирования в полосе от 150 до 2 400 Hz осуществляется тональное телеграфирование (12 или 18 передач).

Работа телемеханических устройств, в которых передача производится или при помощи токов, изменяющихся по своей силе, или при помощи импульсов, может осуществляться в подтональном канале, в канале тонального телеграфирования, канале надтонального телеграфирования и в канале высокочастотного телефонирования.



Фиг. 313. Внешний вид тонального генератора в собранном и разобранном виде.

Работа устройств телеизмерения, применяющая методы интенсивности, и работа устройств телеуправления, применяющих передачу импульсами различной полярности, может производиться только в подтональном канале связи, так как для работы устройств этого типа необходима передача постоянным током.

Импульсные устройства телеизмерения и устройства телеуправления с передачей переменным током могут работать как в канале постоянного тока, так и во всех остальных каналах связи.

Способ многократного использования линий связи передачей различными частотами представляет, таким образом, для работы устройств телемеханики достаточно большое число каналов связи. Следует, однако, указать, что использование этих каналов связи неравноценно в отношении стоимости. В табл. 7 приведены данные о стоимости отдельных передач при осуществлении их в различных каналах связи.

Эта таблица показывает, что подтональные каналы связи стоят несравненно дешевле передачи в надтональной части. Эта разница в стоимости еще более увеличивается, если принять во внимание стоимость обслуживания каналов связи. В то время как подтональные каналы не требуют почти никакого обслуживания, надтональные требуют обслуживающего персонала высокой квалификации и, кроме того, требуют высоких эксплуатационных расходов (смена ламп, питание).

ТАБЛИЦА 7

Стоимость каналов связи при различных методах многократного использования линий

№ по пор.	Наименование аппаратуры	Ориентировочная стоимость двух конечных станций в рублях	Количество передач	Стоимость одной передачи в рублях
1	Схема Пикара	100	1	100
2	Подтональный канал с землей	700	2	350
3	Подтональный канал связи без земли	700	1	700
4	Подтональный канал связи с тональным вызовом	3 700	1	3 700
5	Подтональный канал связи с землей и с одной передачей 100-периодным током	3 600	3	1 200
6	Надтональный телеграф . . .	80 000	6	13 500

Так, например, расходы по обслуживанию и эксплуатационные расходы для установки надтонального телеграфирования составляют около 20 000 руб. в год.

Образование каналов связи в подтональной полосе частот возможно различными способами. При необходимости осуществления работы устройства телеуправления на линиях связи, уже занятых телефонными разговорами, что в большинстве случаев будет иметь место в энергосистемах, наиболее целесообразно применение следующих способов:¹

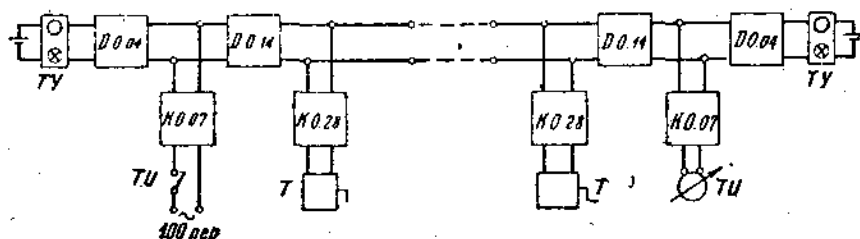
а) При необходимости выделения на занятой телефонной линии для работы устройств телеуправления или телеизмерения одного канала связи целесообразно этот канал связи образовывать или при помощи схемы Пикара или же путем выделения канала постоянного тока посредством телеграфных фильтров. В последнем случае необходимо озаботиться об осуществлении вызова для телефона, который обычно производится при помощи индуктора, дающего ток частотой около 25 Hz. При использовании подтонального канала связи для работы телемеханических устройств приходится или переводить вызов на более высокую частоту (например, производить его 50-периодным током), выделяя для этого в подтональном канале связи при помощи фильтров отдельный канал, или же применять тональный вызов. В последнем случае передача вызова производится частотой около 500 Hz, которая модулируется частотой 25 Hz, даваемой индуктором. Для передачи этой частоты в тональном канале связи при помощи фильтров выделяется узкая полоса частот, по которой и производится пере-

¹ Столь сильное уплотнение линий связи мало распространено за границей ввиду легкости получения там более надежных отдельных проводов связи, однако в условиях недостаточно развитой сети связи, строительство которой не производится достаточно быстро, оно может оказаться целесообразным в подтональной полосе частот.

дача тонального вызова. При включении в подтональный канал связи устройства телеуправления телефонный вызов можно производить также при помощи этого устройства. При этом необходимо только предусмотреть резервный нормальный вызов при помощи индуктора на случай повреждения устройства телеуправления и выключения его из работы.

б) При необходимости выделения двух каналов связи, одного для телеуправления и другого для телеизмерения, выделение этих каналов связи целесообразно производить следующим образом.

Для работы устройств телеуправления выделить канал постоянного тока от 0 до 45 Hz, а телеизмерение производить 100-периодным током, выделив для этого канал от 70 до 140 Hz (фиг. 314).¹ Телефонный вызов необходимо осуществлять или при помощи тонального вызова или же производить его через устройство телеуправления.



Фиг. 314. Использование телефонной линии для работы устройства телеуправления и передачи одного телеизмерения.

ТУ — устройство телеуправления; ТУ — устройство телеизмерения; Т — телефон; Д — дроссельный фильтр; К — конденсаторный фильтр (цифры указывают частоту в кицциклах).

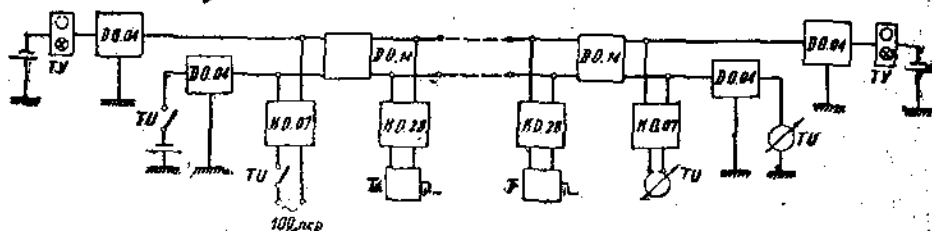
Осуществление работы устройства телеуправления в канале постоянного тока выгодно вследствие того, что в этом канале передача может осуществляться импульсами различной полярности, что дает принципиально большие возможности, чем какая-либо другая передача, кроме того, устройство телеуправления в этом случае позволяет легко производить телеизмерение по вызову, причем тип телеизмерительной аппаратуры не ограничивается в этом случае никакими условиями.

в) Выделение трех каналов связи, одного для телеуправления и двух для непрерывного телеизмерения, целесообразно производить так, как это указано на фиг. 315. Для работы устройств телеуправления здесь применяется канал постоянного тока, образованный одним из проводов и землей. Другой канал связи постоянного тока, образованный другим проводом и землей, используется для передачи непрерывного телеизмерения. Второе непрерывное телеизмерение передается 100-периодным током по каналу от 70 до 140 Hz. При невозможности использования земли следует применять схему фиг. 314, а второе телеизмерение осуществлять в надтональной части или узкой полосе частот тональной части.

При числе передач, большем трех, приходится переходить к использованию тональных или надтональных частот. Можно также применять передачу в канале телефонирования высокой частотой. В этом случае

¹ Фильтры Д 0,04 и К 0,07 нашей промышленностью не изготавливаются. Выделение канала 70—140 Hz требует поэтому изготовления специальных фильтров.

наиболее удобной является передача модулированными частотами. Применяя для модуляции тональные частоты и накладывая их на несущую высокую частоту, можно в полосе частот, занимаемой нормально одним телефонным разговором, осуществлять до 12 передач.

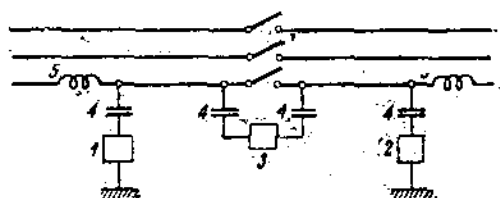


Фиг. 315. Использование телефонной линии связи для работы устройства телеуправления и передачи двух телеизмерений.

ТУ — устройство телеуправления; ТУ — устройство телеизмерения; Т — телефон; Д — просекательный фильтр; К — конденсаторный фильтр (цифры указывают частоту в килогерцах).

73. Передача высокой частотой по линиям высокого напряжения

В энергосистемах для телефонной связи часто используются линии высокого напряжения. Эти же линии можно использовать и для работы телемеханических устройств. Принципиальная схема передачи высокими частотами по линии высокого напряжения изображена на фиг. 316. Отделение высокой частоты от тока промышлен-



Фиг. 316. Передача высокой частотой по линии высокого напряжения.

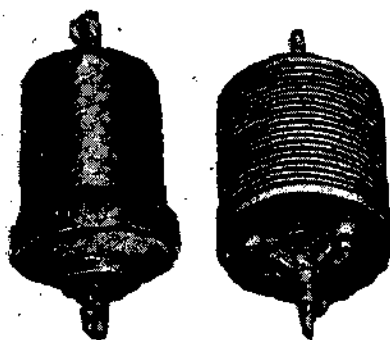
1 — передатчик; 2 — приемник; 3 — обходное устройство; 4 — соединительные конденсаторы; 5 — запорные контуры.

представляют собой небольшое сопротивление. Для тока же 50 периодов они представляют большое сопротивление, и поэтому ток через них не проходит. Для передачи по линиям связи обычно применяют частоты выше 50 000 Hz. Эти частоты выше, чем применяемые для высокочастотной телефонии по проводам связи, так как на линиях высокого напряжения применять более низкие частоты нецелесообразно вследствие трудности конструирования некоторых частей линейного оборудования.

Для связи по линии высокого напряжения применяются два способа включения. При использовании одного из них передача осуществляется по двум фазам линии высокого напряжения, а при другом

ной частоты, передаваемого по линии, производится при помощи разделительных конденсаторов, которые одновременно предохраняют установки высокочастотного телефонирования от высокого напряжения линии. Эти конденсаторы для высокой частоты, при помощи которой производится телефонная связь и осуществляется работа устройств телемеханики,

по одной фазе и земле. Двухфазное включение уменьшает затухание в два-три раза по сравнению с однофазным включением, так как в этом случае индуктивность линии несколько больше, чем при однофазном включении, а емкость несколько меньше. Это позволяет осуществлять передачу при одной и той же мощности передающих устройств на большее расстояние. Недостаток двухфазного включения заключается в большем увеличении затухания и уменьшении слышимости при гололеде и иное. Кроме того, в случае двухфазного включения передача менее надежна при повреждении линий высокого напряжения. Обрыв одного из проводов приводит обычно к прекращению связи. При однофазном включении при обрыве провода без его заземления связь не прерывается, так как оба конца оборванного провода действуют как



Фиг. 317. Запорный контур.

антенны, оказывая друг на друга влияние. Кроме того, переход энергии с одного конца обрыва на другой облегчается присутствием двух других проводов линии. Двухпроводная система зато несколько выгоднее в отношении помех, так как в этом случае оба провода оказывают друг на друга взаимно компенсирующее действие.

Большим минусом двухпроводного включения является увеличение количества соединительных устройств (конденсаторов и дросселей), которое значительно увеличивает стоимость установки.

Конденсаторы, которые применяются для соединения высокочастотной установки с линией электропередачи, имеют своим назначением помимо предохранения от попадания в высокочастотную установку 50-периодного тока, также и защиту этой установки от высокого напряжения с линии электропередачи. Эти конденсаторы изготавливаются поэтому с надлежащей изоляцией. Наиболее распространены конденсаторы с пертинаксовой и фарфоровой изоляцией, а также кабельно-масляные конденсаторы. Емкость конденсатора, необходимая для связи, составляет обычно от 0,001 до 0,005 μF . На случай пробоя конденсатора высокочастотные установки снабжаются специальными разрядниками.

Если направлять высокую частоту в линию электропередачи, соединенную с остальной сетью, то энергия высокой частоты будет рассеиваться в этой сети и вместо приема будет приходить только незначительная часть ее. Для того чтобы предупредить рассеяние энергии, применяется обработка линий высокого напряжения резонансными контурами, настроенными на запираание высокой частоты. При помощи этих контуров для высокой частоты выделяется определенный канал связи. Эти контуры, пропуская легко 50-периодный ток, запирают путь для высокой частоты.

Резонансные контуры изготавливаются в виде дроссельных катушек (фиг. 317), внутри которых имеется контур, настроенный на высокую

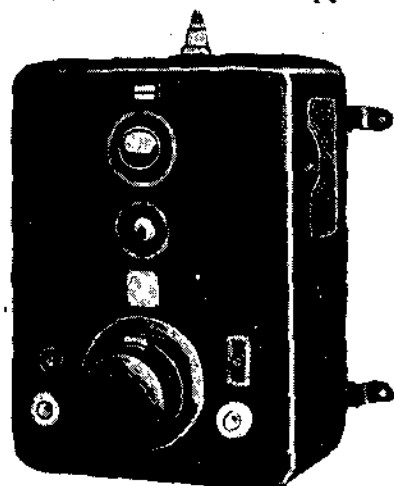
частоту, передаваемую по линии. Дроссельная катушка должна быть рассчитана на нагревание от полного линейного тока и на электродинамическое взаимодействие между витками при токах короткого замыкания. Чтобы преградить путь высокой частоте, такими же катушками обрабатываются и все ответвления от линии. Могут быть случаи, когда высоковольтная линия на пути передачи высокой частоты на какой-нибудь из промежуточных подстанций разомкнута. Чтобы не прерывать в этом случае связи высокой частотой в месте возможного разрыва, устраивается обходное устройство. Обход осуществляется путем включения в линию по обе стороны от возможного места разрыва конденсаторов и настраивающих контуров.

Такие обходные устройства необходимо устраивать на всех промежуточных пунктах или подстанциях вдоль линии. В обходное устройство можно также включить высокочастотную установку, используя, таким образом, это устройство не только для обхода соответствующей подстанции, но и для осуществления высокочастотной связи с этой подстанцией.

Обходные устройства значительно увеличивают затухание линии электропередачи и при числе обходных устройств более 2 или 3 связь становится затруднительной. Применяя специальные меры для уменьшения затухания, число обходных устройств можно увеличить до 5. Следует указать, что двухпроводное включение имеет в этом отношении преимущество, так как число обходных устройств может быть на нем больше. Величину затуханий, даваемую обходными постами, можно уменьшить, не ставя на линии дроссельных катушек, как это делают американцы. На длинной линии, состоящей из нескольких самостоятельных участков с промежуточными подстанциями, редко бывает, чтобы линия выключалась сразу в нескольких точках. При отсутствии запирающих дроссельных катушек высокая частота в тех местах, где линия замкнута, имеет возможность проходить напрямую, помимо обходных устройств, и это уменьшает величину затуханий. Передача высокой частотой осуществляется при помощи высокочастотных постов, устанавливаемых в закрытом помещении и соединяемых с высокочастотным конденсатором специальной проводкой.¹ При включении на линию высокого напряжения телемеханических устройств наиболее целесообразно использовать для этих устройств те же высокочастотные посты, которые служат для передачи телефонного разговора. При непрерывной работе телемеханических устройств (устройств телеизмерения) использование телефонных высокочастотных постов является однако неэкономичным. В этом случае применяют отдельные высокочастотные передатчики и приемники специально для устройств телемеханики, работающие через те же соединительные конденсаторы, что и телефонные посты. Внешний вид этого устройства в исполнении фирмы Телефункен изображен на фиг. 318. При необходимости передачи нескольких величин наиболее целесообразно использование одной несущей частоты, модулированной несколькими тональными частотами, так же как это делается при передаче телеизмерения в канале

¹ В СССР высокочастотные посты изготавливаются телефонным заводом «Красная заря».

высокочастотной телефонии по телефонным линиям. Применение для модуляции тех же частот, что и в тональной телеграфии, позволяет использовать оборудование, уже разработанное для этой цели, причем через один высокочастотный пост такого же типа, который применяется для телефонной связи, можно осуществлять до 12 передач. Необходимая для этого полоса частот соответствует полосе, передаваемой по линии высокого напряжения в случае работы телефона, и таким образом, соединительное оборудование линии связи (конденсаторы и дроссели) может быть использовано в этом случае без всяких изменений.



Фиг. 318. Устройство для передачи телеизмерения через высокочастотный пост.

В последнее время фирма АЕГ разработала установку, дающую возможность производить по одному каналу связи телеизмерение и одновременно по тому же каналу связи производить передачу сигналов. Эта передача осуществляется таким образом, что в момент передачи сигнала телеизмерение прерывается, а по окончании этой передачи автоматически возобновляется.

Применение высокочастотной связи по линии высокого напряжения в энергосистемах возможно не во всех случаях. Конфигурация высоковольтной сети, специально приспособленной для распределения электрической энергии, не всегда позволяет выделять прямые каналы связи ме-

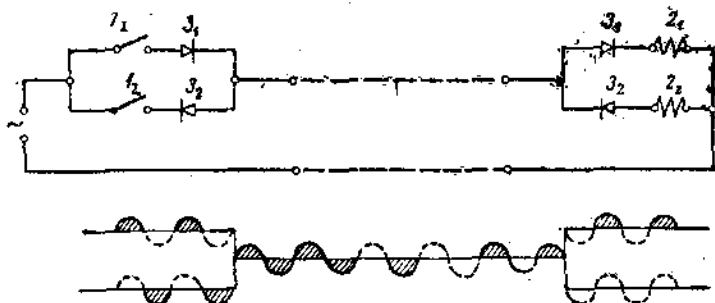
жду контролируемой установкой и диспетчерским пунктом. Выделение таких каналов связи требует часто весьма значительной обработки высоковольтных линий и большой затраты денежных средств, а в некоторых случаях делает использование высоковольтных линий совсем невозможным. Передача по высоковольтной линии, кроме того, требует значительно больших затрат по сравнению с передачей по телефонным линиям и поэтому экономически менее выгодна. Стоимость одного канала связи на высоковольтной линии обходится (по предварительным соображениям) около 30—35 тыс. руб. Вместе с тем передача высокой частотой по линиям высокого напряжения является наиболее надежной, так как линия высокого напряжения значительно реже повреждается, чем линия связи. В СССР в настоящее время производится аппаратура только для высокочастотной телефонии, аппаратуры же для передачи, телеизмерений и сигналов телеуправления по линии высокого напряжения еще нет.

74. Псевдомногократная передача

При псевдомногократной передаче отдельные передачи производятся по линии связи не одновременно, а друг за другом при помощи переключающих устройств, устанавливаемых по концам линии связи.

При медленном чередовании отдельных передач по общей линии связи в качестве переключающих устройств применяются обычно механические переключатели моторного или шагового типа, подобные тем, которые были рассмотрены при описании устройств телеуправления. Для синфазирования переключающих устройств применяется или старт-стопный способ или же способ синфазирования на каждом контакте.

При применении быстрого чередования передач применяются как механические переключающие устройства, так и действующие на электрических принципах. В механических переключающих устройствах, которые действуют в этом случае с большой быстротой, приме-



Фиг. 319. Псевдомногократная передача двух величин в одну сторону при помощи вентильных устройств.

1_1 и 1_2 — контакты передающих устройств; 2_1 и 2_2 — приемные реле; 3_1 и 3_2 — вентильные устройства.

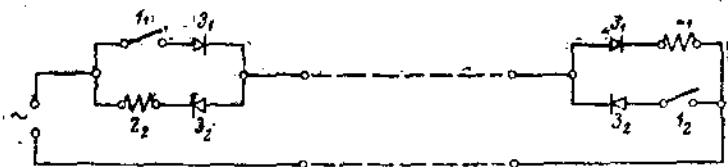
няют обычно моторный привод и старт-стопную синхронизацию. По конструкции они приближаются к типу переключающих устройств быстроедействующей телеграфии (телеграфные аппараты Бодо, Сименса, Тремля и т. п.). На описании принципов действия этих устройств мы останавливаться не будем.

В методах псевдомногократной передачи, построенных на электрических принципах, в качестве переключающего устройства применяется обычно вектор напряжения переменного тока. Наиболее распространен принцип использования выпрямительных устройств для передачи при помощи полуволн переменного тока. Один из способов этой передачи изображен на фиг. 319, на которой представлена схема для передачи двух величин в одном направлении. Передающие и приемные аппараты представляют собой соединение прерывателей и реле с вентильными устройствами, в качестве которых применяются обычно купроксные выпрямители. Одна из величин передается при помощи положительной полуволны, другая — при помощи отрицательной полуволны переменного тока. Разделение этих полуволн производится при помощи выпрямителей, включенных последовательно с контактами передающих устройств и с обмотками реле приемных устройств.

Из диаграммы токов, на схеме фиг. 319, видно, что при замыкании контактов 1_1 в линию посылаются положительные полуволны переменного тока, а на приемном конце срабатывает реле 2_1 , вентильное устрой-

ство которого пропускает только положительные полуволны. При замыкании контактов 1_2 в линию посылаются отрицательные полуволны и на приемном конце срабатывает реле 2_2 . При одновременном замыкании контактов в линию посылаются обе полуволны, и при этом срабатывают оба реле. Вектор переменного тока, таким образом, здесь служит своеобразным переключателем, который 50 раз в секунду переключает провода связи, предоставляя их для передачи то одной, то другой величины. При помощи этого метода можно также устроить передачу двух величин и в противоположных направлениях, как это показано на схеме фиг. 320.

Описанный принцип чрезвычайно прост, дешев и не требует применения сложной аппаратуры. Особым его преимуществом является то обстоятельство, что применяемая аппаратура не имеет никаких вращающихся частей, подвергающихся износу, и поэтому почти не требует ухода.

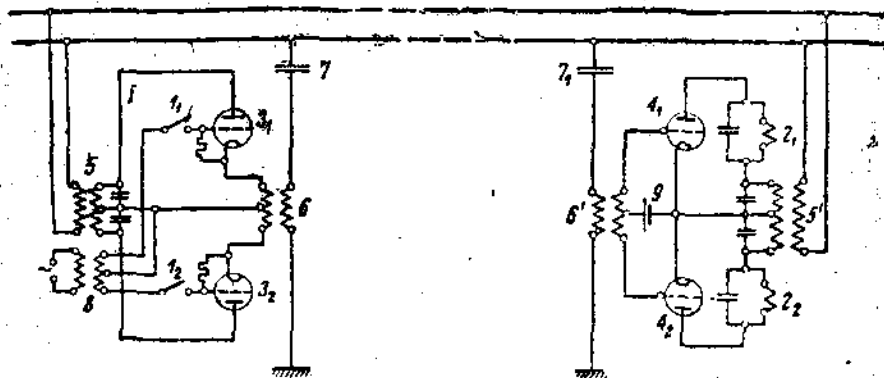


Фиг. 320. Передача при помощи вентильных устройств в разные стороны.

Недостатком этого способа является то обстоятельство, что емкость и индуктивность линий и индуктивность приемных реле действуют искажающе на передачу. При больших величинах индуктивности и емкости переменный ток получает большое затухание и приходится прибегать к его усилению.

Другой способ передачи изображен на фиг. 321. Здесь передача осуществляется также при помощи разных полуволн переменного тока, однако в этом случае полуволны используются не для самой передачи, а только для модулирования несущей частоты, передаваемой по линии. Передача осуществляется при помощи контактов 1_1 и 1_2 , которые управляют сеточными напряжениями электронных ламп 3_1 и 3_2 . При выключенных контактах 1_1 и 1_2 напряжение на сетках ламп 3_1 и 3_2 равняется нулю, а анодный ток их представляет собой выпрямленные полуволны переменного тока низкой частоты, получаемого от трансформатора 5. Анодный ток проходит на передающей стороне через трансформатор 6. Однако он имеет низкую частоту и в линию не попадает благодаря наличию между трансформатором 6 и линией конденсатора 7. При замыкании контактов 1_1 или 1_2 на сетку дается высокая частота от источника переменного тока 8. Эта частота модулирует низкую частоту, причем полученные колебания анодного тока высокой частоты передаются через трансформатор 6 и соединительный конденсатор 7 на линию, откуда они через конденсатор 7' и трансформатор 6' попадают на сетки электронных ламп 4_1 и 4_2 . Сетки этих ламп нормально заперты при помощи подачи отрицательного напряжения от батареи 9.

При получении тока высокой частоты сетки этих ламп попеременно получают положительное напряжение, причем анодный ток их, протекая через приемное реле 2_1 и 2_2 , заставляет это реле действовать. При этом реле 2_1 получает ток только в том случае, когда замкнут контакт 1_1 , так как высокая частота от электронной лампы 3_1 поступает в линию только в тот момент, когда через нее проходит положительная полуволна синхронного напряжения, которая в этот же момент отпирает анодный ток в лампе 4_1 . Та же высокая частота поступает и в электронную лампу 4_2 . Однако, вследствие того что анодный ток в этой лампе



Фиг. 321. Двухкратная передача при помощи модулирования высокой частоты.

отпирается только на отрицательной полуволне синхронного переменного тока, реле 2_2 остается без действия. При замыкании контактов 1_2 , наоборот, анодный ток отпирается в лампе 4_2 и запирается в лампе 4_1 , вследствие чего приходит в действие реле 2_2 .

ГЛАВА XVI

ВЫБОР УСТРОЙСТВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

75. Выбор устройств телеуправления

Выбор типа устройств телеуправления определяется количеством объектов, обслуживаемых ими, и характером линий связи, которые могут быть предоставлены.

В больших энергосистемах могут встречаться установки самого разнообразного типа: как с очень сложными схемами и большим количеством объектов, так и с простыми схемами с малым количеством объектов. Практика проектирования телемеханизации больших энергосистем показывает, что число объектов, контролируемых из диспетчерского пункта, для основных станций энергосистемы и крупных подстанций магистральной сети составляет обычно от 40 до 100—120. Для станций местного значения и подстанций распределительных сетей это число составляет от 20 до 40—60.

Количество сигналов зависит и от степени телемеханизации установки. При полной телемеханизации общее число сигналов, передаваемых в диспетчерский пункт, получается очень большим. Так, например, от каждой отходящей линии или фидера в этом случае приходится передавать следующие сигналы: а) два сигнала о положении масляного выключателя; б) четыре сигнала о положении двух шинных разъединителей; в) два сигнала о положении линейного разъединителя; г) четыре сигнала о направлении активной и реактивной мощности, т. е. всего 12 сигналов. При управлении этими объектами, кроме этого, нужно передавать еще восемь сигналов из диспетчерского пункта.

Такой большой объем телемеханизации целесообразен только в том случае, когда на контролируемой установке отсутствует персонал и она полностью управляется из диспетчерского пункта. Однако и в этом случае следует по возможности упрощать схему установки, с тем чтобы не усложнять управление ею на расстоянии.

При наличии на контролируемой установке дежурного персонала следует ограничиться передачей в диспетчерский пункт минимального количества сигналов, оставляя только наиболее важные из них. Это необходимо как с точки зрения сокращения размеров телемеханических устройств, так и в целях разгрузки диспетчера от контроля большого числа аппаратов.

Особенно важна экономия числа передаваемых сигналов в больших энергосистемах, где число их получается настолько большим, что переходит границы, до которых контроль может осуществляться одним человеком. Здесь помимо жесткой экономии числа сигналов, о которой говорилось выше, приходится прибегать к децентрализации диспетчерского управления, устраивая в энергосистеме местные диспетчерские пункты или же распределяя участки энергосистемы между несколькими диспетчерами, дежурящими одновременно в одном диспетчерском пункте.

Сокращение числа сигналов целесообразно также и с точки зрения упрощения мнемоники диспетчерского щита. Как уже говорилось при рассмотрении построения мнемонических схем, устранение ряда второстепенных объектов может значительно упростить схему и сократить размеры ее без нарушения достаточно полного осведомления диспетчера об оперативном состоянии сети.

Принципиально можно ограничиться передачей сигналов только от тех объектов, изменение положения которых меняет оперативное состояние схемы и требует немедленного принятия мер со стороны диспетчера. Такими сигналами являются сигналы о положении масляных выключателей, сигналы о направлении активной и реактивной мощности, аварийные сигналы и различные сигналы о ненормальном режиме работы установок. Для разъединителей, изменение положения которых происходит всегда по предварительному согласованию с диспетчером и осуществляется обычно только в исключительных случаях, автоматическая сигнализация необязательна. Эта сигнализация может быть еще предусмотрена для шинных разъединителей и для разъединителей, заменяющих масляные выключатели, переключо-

чение которых изменяет схему коммутации энергосистемы. Для линейных же разъединителей, заземляющих разъединителей, трансформаторных и генераторных разъединителей и т. п., которые не являются коммутационной аппаратурой и устанавливаются исключительно в целях безопасности, автоматическая сигнализация не нужна. Устройство автоматической сигнализации, даже только для шинных разъединителей увеличивает число сигналов и размеры установок телеуправления почти вдвое. Поэтому при решении вопроса о введении этой сигнализации следует сопоставить увеличение стоимости установки телеуправления и увеличение числа сигналов с теми оперативными удобствами, которые может дать введение этой сигнализации. В большинстве случаев от автоматической сигнализации шинных разъединителей можно все же отказаться и осуществлять фиксацию их положения на диспетчерском щите от руки. Нужно учитывать также, что автоматическая сигнализация дает эффект, главным образом, во время аварии, когда она значительно сокращает время осведомления диспетчера о переключениях, происшедших в сети и уменьшает время ликвидации аварии. С этой точки зрения важно иметь сигнализацию только от тех объектов, которые в момент аварии могут автоматически изменять свое положение. Разъединители не принадлежат к этим объектам. Однако и при указанных выше ограничениях количество сигналов в диспетчерском пункте получается все же очень большим. Поэтому в больших энергосистемах приходится еще больше сокращать количество сигналов, прибегая к уменьшению числа сигналов от выключателей, направления мощности и т. п. Так, например, в центральный диспетчерский пункт энергосистемы не следует передавать сигналов от выключателей фидеров местной нагрузки. Можно также отказаться от передачи положения масляных выключателей трансформаторов, питающих местную нагрузку. В ряде случаев можно отказаться от сигнализации направления активной мощности, так как ее распределение определяется графиками нагрузки, заданными станциям.

Несмотря на эти ограничения число сигналов, передаваемых в диспетчерский пункт с отдельных установок, достигает, как указывалось выше, от 40—60 до 100—120. Это обстоятельство накладывает определенную печать на выбор типа устройств телеуправления для энергосистем.

Прежде чем переходить к этому вопросу, рассмотрим влияние второго фактора — условий работы устройств телеуправления по линиям связи.

В этом отношении в энергосистемах могут представиться следующие случаи:

- а) наличие свободных проводов связи;
- б) наличие проводов связи, используемых одновременно для других целей, и
- в) передача высокой частотой по линиям высокого напряжения.

Помимо обычного включения может иметь место также случай, когда по условиям расположения наличных линий связи приходится включать на один канал связи телемеханические устройства нескольких контролируемых установок. В этом случае эти устройства должны быть

приспособлены для совместной параллельной работы по одному каналу связи. Такого включения стараются, однако, избегать, так как в этом случае при повреждении канала связи или повреждении элементов передачи и приема установки на диспетчерском пункте прерывается телемеханическая связь сразу со всеми контролируемыми установками. Поэтому такое включение допускается или в случае очень надежных каналов связи (кабельные линии, линии высокого напряжения) или же для неответственных установок.

Перейдем теперь к рассмотрению выбора типов устройств телеуправления:

С точки зрения удобства монтажа, обслуживания и резервирования в диспетчерском пункте желательно иметь устройства телеуправления какого-либо одного типа, удовлетворяющего всем условиям работы, имеющимся в данной энергосистеме. Это легко осуществимо в отношении элементов исполнения и воспроизведения, которые, как указывалось выше, зависят только от местных условий. В отношении же элементов передачи и приема стремление создать универсальное устройство телеуправления путем разработки такого принципа действия, который удовлетворял бы всем существующим условиям, вряд ли является правильным.

Если такой принцип действия будет даже найден, то он не будет наиболее экономичным и наиболее целесообразным для каждого из существующих условий, а будет удовлетворять им всем в большей или меньшей степени, не давая наиболее рационального решения для каждого из них в отдельности. Каждая из фирм, производящих устройства телеуправления, имеет поэтому обычно несколько типов устройств, построенных на различных принципах, и для каждого типа условий применяет определенный тип устройств.

При небольших расстояниях наиболее целесообразно применение кабельных устройств телеуправления, в которых можно обойтись без элементов передачи и приема, соединяя элементы послылки непосредственно с элементами исполнения. Такие устройства являются наиболее надежными и простыми. Поэтому их целесообразно применять во всех случаях, когда стоимость многожильного кабеля, который необходим для работы этих устройств, не превышает стоимости элементов передачи и приема в устройствах телеуправления малокабельного типа.

В табл. 8 приведены данные о стоимости некоторых зарубежных устройств телеуправления.

Стоимость устройств, разработанных в СССР, не является еще установленной, поскольку эти устройства не изготавливаются в серийном порядке.

Как можно видеть из табл. 8, стоимость элементов послылки и исполнения (общая часть устройства, не зависящая от количества контролируемых объектов) составляет от 3 000 до 5 000 руб. При применении малокабельных устройств и при среднем числе объектов в 40—50 стоимость многожильного кабеля составит около 2 000 руб. за 1 км. Таким образом применение кабельных систем целесообразно до расстояний в 1,5—2,5 км.

Для устройств телеуправления, разработанных в СССР, это расстояние увеличивается до 4—5 км благодаря несколько большей стоимости их по сравнению с зарубежными.

Следует указать, что в ряде случаев, учитывая значительную простоту и большую надежность кабельных устройств телеуправления, идут на излишние затраты на многожильные кабели и применяют эти устройства даже в тех случаях, когда экономически выгоднее применять малокабельные устройства телеуправления.

ТАБЛИЦА 3
Стоимость устройств телеуправления

№ по пор.	Тип устройства и фирмы	Стоимость в долларах		
		общей части	на каждый объект	на 40 объектов
1	Кабельный, фирмы Джeneralь Электрик К ^о	790	170	7 420
2	Распределительный с шаговыми искателями, фирмы Джeneralь Электрик К ^о	2 330	230	11 530
3	Кодовый, фирмы Джeneralь Электрик К ^о	2 150	230	11 850
4	Распределительный с шаговыми искателями, фирмы Сименс (только сигнализация)	1 064	50	3 064
5	Кодовый, фирмы Юнион Свич К ^о (железнодорожная диспетчерская централиз.) . .	3 290	168	9 980

В некоторых случаях, особенно при большом числе объектов, можно достигнуть значительного сокращения числа проводов, применяя комбинационные устройства телеуправления. Эти устройства имеют, однако, уже элементы послышки и приема и требуют принятия мер для защиты от неправильной передачи сигналов, что усложняет их и ослабляет их конкурентоспособность по сравнению с кабельными устройствами телеуправления.

При сравнении многоканальных устройств телеуправления с малокабельными следует учитывать, что последние при небольших расстояниях работают обычно по 2—4 жилам многожильных телефонных кабелей, составляющих собственность энергетического объединения, или по жилам, арендованным у телефонных станций. И в том и другом случае жилы, используемые для телеуправления, составляют только незначительную часть общего числа жил (число жил в кабелях, являющихся собственностью энергетических объединений, составляет обычно 20—40, в кабелях же телефонных станций исчисляется сотнями). Поэтому на эти жилы падает только небольшая часть стоимости

кабелей. Стоимость самих жил составляет около 40 руб. на одну жилу за 1 км длины, и по сравнению с полной стоимостью кабеля около 2 000 руб. за 1 км, которую нужно учитывать, при кабельных системах этой величиной также можно пренебречь.

Малоканальные устройства телеуправления имеются двух типов: распределительные и комбинационные (кодовые). Первые при большом количестве сигналов требуют большего времени, но зато дают одновременную передачу ряда сигналов (циркулярность), вторые же требуют меньшего времени, но одновременно могут передавать только один сигнал. При применении в распределительных устройствах телеуправления разбивки контролируемых объектов по группам разность во времени уменьшается, а в некоторых случаях эти устройства дают даже меньшее время передачи, чем кодовые. Так, например, при количестве объектов в 100 шт. и разбивке их по 20 шт. в группе, в распределительных устройствах потребуется передача 25 импульсов, в устройствах телеуправления с декадным кодом 20 импульсов, а в устройствах телеуправления с дуальным кодом девяти импульсов. Нужно оговориться, что циркулярность в распределительных устройствах телеуправления сохраняется при этом только в пределах одной группы.

К недостаткам кодовых устройств телеуправления следует отнести то, что они обладают несколько большей сложностью, чем распределительные устройства телеуправления (необходимость специальных устройств для предупреждения одновременной посылки сигналов в случае одновременного их возникновения, необходимость переключения линий с одних цепей на другие при посылке сигналов в различных направлениях и т. п.).

Вместе с тем эти устройства дают более простые схемы при работе нескольких контролируемых пунктов на одной линии связи. Заграничные фирмы обычно рекомендуют применять кодовые устройства телеуправления именно в этих случаях.

В условиях одиночной передачи более целесообразным является применение распределительных устройств телеуправления. Это особенно целесообразно в условиях работы энергосистем, где количество сигналов, передаваемых с отдельных контролируемых установок, велико и где циркулярность передачи имеет большое значение.

Передача сигналов в распределительных устройствах телеуправления производится при помощи импульсов различной полярности или различной продолжительности. Наиболее рациональными по своему действию являются устройства телеуправления первого типа, особенно в тех случаях, когда синхронизация переключающих устройств производится на каждом контакте. При передаче импульсами различной полярности и применении трехпозиционных поляризованных реле можно использовать три состояния линии связи: ток одного направления, ток другого направления и отсутствие тока.¹ Это дает возможность производить передачу двух противоположных сигналов, требующихся для каждого объекта в одном положении искателя. При этом

¹ Это возможно, конечно, только для устройств телеуправления, в которых импульсы сигнализации передаются отдельно от импульсов движения.

отсутствие сигнала (например, в случае повреждения в какой-либо из индивидуальных цепей) передается отсутствием тока и не вызывает никакого действия приемных реле.

При передаче импульсами различной продолжительности, где импульс должен обязательно передаваться при каждом шаге, так как он необходим для движения искателей, и где для приема импульсов применяются нейтральные реле, можно использовать только два состояния линии (короткий и длинный импульсы или короткая и длинная паузы). Поэтому для получения той же надежности, что и при передаче импульсами различной полярности, здесь необходимо ограничиться передачей на каждом шаге искателя одного сигнала. Это при одном и том же количестве объектов требует вдвое большего количества шагов и вдвое большего времени.¹ Кроме того, при временной передаче некоторые из импульсов и пауз делаются большой продолжительности, что еще больше увеличивает время передачи.

Следует напомнить, что распределительные устройства с временной передачей обладают также тем недостатком, что они не дают синхронизации распределяющих устройств на каждом шагу, а производят проверку правильности передачи импульсов только в конце передачи. Это увеличивает время передачи и требует при передаче управляющего и командного сигналов двух циклов работы устройства.

Применение передачи с различной полярностью импульсов ограничивается, однако, теми случаями, когда для них могут быть выделены или специальные провода связи или же провода связи, в которых может быть использован подтональный канал (канал постоянного тока). Применение устройств телеуправления этого типа принципиально возможно также и при передаче тональными, надтональными и высокими частотами. В этом случае они требуют, однако, или выделения двух каналов связи (двух частот) или же применения модулирования, что значительно удорожает использование линий связи. Поэтому при передаче высокой частотой или тональными и надтональными частотами целесообразней применять распределительные устройства телеуправления, использующие временные признаки (короткий и длинный импульсы, короткий и длинный интервалы и т. п.). Следует указать, что если исходить из чисто экономических соображений, то выделение подтонального канала связи с передачей импульсами различной полярности является, как это можно видеть из табл. 7 на стр. 451, всегда более выгодным, чем установка устройства тонального или надтонального телеуправления.

При невозможности выделения подтонального канала связи более выгодным является опять-таки подвеска лишней пары проводов. Действительно, как указывалось в табл. 7, стоимость одного одностороннего канала связи в устройстве надтонального телеуправления составляет 13 500 руб. Подвеска пары железных проводов на уже существующей линии стоит 150 руб. за 1 km. Таким образом переход на передачу надтональными частотами будет выгоден только в тех случаях, когда расстояние передачи выше 90 km. Если принять во внимание,

¹ См. W. Stäblein, Die Technik der Fernwirkanlagen, Берлин, 1934, стр. 175.

что в указанной выше цифре в 13 500 руб. не учтены эксплуатационные расходы и что эта цифра получается только при одновременном использовании всех шести каналов установки надтонального телеграфирования, то можно прийти к заключению, что в энергосистемах в большинстве случаев следует производить передачу в подтональном канале связи¹. На применение передачи тональными или надтональными частотами следует идти только в случае полной невозможности получения лишних проводов или большой нагрузки линии связи.² Те же соотношения имеют место и при выборе между передачей по проводам связи и передачей по линии высокого напряжения. Здесь, однако, нужно учитывать значительно большую надежность передачи по линиям высокого напряжения, которая в ряде случаев может заставить пойти на передачу по этим линиям, несмотря на большую стоимость осуществления ее.

Таким образом для энергосистем необходимы минимум три типа устройств телеуправления: кабельный, распределительный с передачей различной полярностью импульсов и распределительный с временной передачей. Последние два типа должны иметь модификации для случаев одиночного включения и случаев параллельного включения устройств телеуправления в один канал связи. Применение для этих случаев одной и той же схемы является нецелесообразным, так как при параллельном включении нескольких устройств телеуправления в один канал связи необходимо применение ряда вспомогательных схем, обеспечивающих выбор соответствующей контролируемой установки при передаче сигнала из диспетчерского пункта, взаимной блокировки устройств телеуправления различных контролируемых установок при одновременном возникновении сигналов на них и т. п. В случае одиночного включения устройств телеуправления эти вспомогательные схемы не нужны.

Вернемся теперь к вопросу об универсальности устройств телеуправления. Выше было показано, что применение какого-либо одного принципа в энергосистемах является нецелесообразным ввиду наличия различных условий использования линий связи. Это, однако, не закрывает возможность создания универсального устройства телеуправления. Для этого нужно только идти не по пути изыскания универсального принципа действия, а по пути изыскания универсальных конструктивных форм, позволяющих комбинировать в одной и той же аппаратуре различные принципы действия и применять для каждой группы условий наиболее рациональные из них.

Такой способ создания универсальной аппаратуры путем комбинирования ее из нескольких составных частей получил название способа *baukasten* (в переводе — строительные кубики, название распространенной детской игрушки) и применяется в самых различных отраслях техники (станкостроение, приборостроение и т. д.).

¹ Особенно в предвидении будущего кабелирования линий связи в энергосистемах.

² В настоящее время переходить на передачу тональными или надтональными частотами заставляет часто дефицит в проводах для линий связи.

В применении к устройствам телеуправления этот принцип нашел свое отражение в конструктивном оформлении устройства телеуправления Мосэнгеро.

Устройство телеуправления монтируется здесь на штативах. Элементы передачи и приема выполняются на отдельных платах и состоят на каждой установке из одной платы с общими реле и искателями выбора групп и нескольких плат с групповыми искателями и пусковыми реле (по числу групп объектов). Включение плат сделано на штепсельных соединениях, что позволяет быстро заменять их в случае повреждений. Элементы исполнения и платы с групповыми искателями являются одинаковыми и набираются в определенных комбинациях в зависимости от количества и рода сигналов, передаваемых устройством телеуправления. Платы с общими реле и групповым искателем устанавливаются той модификации, которая является наиболее подходящей для условий работы устройства телеуправления. Эти платы выполняются стандартных размеров и могут быть включены на один и тот же штатив без всяких изменений в остальной схеме соединений.¹

Изготовление устройств телеуправления по этому принципу обеспечивает их универсальность и позволяет выпускать их на 80—90% полностью в стандартном выполнении.

76. Выбор устройств телеизмерения

При выборе устройств телеизмерения приходится считаться с требованием еще более жесткой экономии числа передаваемых величин, чем при выборе телеуправления.

Количество подлежащих телеизмерению величин обычно довольно велико. Некоторое представление об этом дает приведенный в первой части настоящей книги перечень величин, которые нужно иметь в диспетчерском пункте. Возможности передачи значительного числа телеизмерений весьма ограничены ввиду дороговизны или дефицитности каналов связи. Также ограничены и возможности размещения в диспетчерском пункте большого числа указательных приборов, которые устанавливаются обычно на диспетчерском пульте, чтобы диспетчер мог их видеть не вставая. Удобное место на пульте ограничено, что заставляет также ограничивать число телеизмеряемых величин. Кроме того, помещать большое количество измерительных приборов перед диспетчером и нецелесообразно, чтобы не отвлекать его внимание от основных.

Одним из способов ограничения количества каналов связи и числа указательных приборов является применение телеизмерения по вызову, при котором несколько величин могут передаваться по одному каналу связи и указываться на одном приборе в диспетчерском пункте.

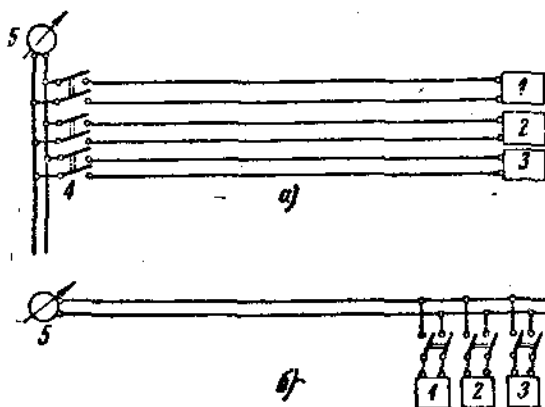
Существует два способа телеизмерения по вызову.

В первом способе каждая телеизмеряемая величина передается через отдельный канал связи на переключательное устройство в дис-

¹ В настоящее время устройство телеуправления разработано полностью только для одной модификации.

петчерском пункте (фиг. 322,а). При помощи переключателя любая из этих величин может быть принята на указательный прибор. Этот способ дает только экономию в числе указательных приборов, требуя полного количества каналов связи.

Во втором способе (фиг. 322,б) для группы телеизмеряемых величин используется один канал связи, который постоянно присоединен к приемному указательному прибору. Приключение передатчиков к этому каналу осуществляется на месте установки передатчиков путем посылки диспетчером специальных сигналов через устройство



Фиг. 322. Телеизмерение по вызову.

1, 2, 3 — передатчики; 4 — переключательное устройство;
5 — указательный прибор.

дует передавать в диспетчерский пункт непрерывно. Кроме того, необходимость непрерывной их передачи возникает в связи с тем, что эти величины должны суммироваться в диспетчерском пункте для получения суммарной активной и реактивной мощности всего объединения.

Для телеизмерения активной и реактивной мощности в диспетчерском пункте рекомендуется иметь по два отдельных указательных прибора на каждую станцию и, кроме того, два прибора для указания суммарной активной и реактивной мощности всей системы. Уже это одно может потребовать размещения на пульте такого большого числа указательных приборов, что часто бывает целесообразно отказаться от непрерывного указания реактивной мощности каждой станции, применяя указание ее по вызову на одном общем приборе. (Непрерывное телеизмерение реактивных мощностей должно быть сохранено, поскольку в диспетчерском пункте происходит их суммирование.) Можно в некоторых случаях отказаться также и от непрерывного телеизмерения активной нагрузки мелких станций, указывая или сумму их нагрузок или же устранив для них телеизмерение по вызову.

Необходимость ограничения количества указательных приборов заставляет отказаться также и от непрерывного указания напряжения из всех контрольных точек сети. Здесь целесообразно ограничиться непрерывным указанием напряжения одной или двух контрольных

телеуправления. Если нет необходимости в продолжительном наблюдении телеизмеряемых величин, то для передачи телеизмерений может быть использован тот же канал связи, что и для телеуправления.

Телеизмерение по вызову применимо не для всех величин. Например, активную и реактивную мощности, которые являются основными величинами, необходимыми диспетчеру для правильного ведения эксплуатации системы, сле-

точек с регистрацией кривой напряжения, для всех же остальных предусмотреть указание напряжения на одном общем приборе по вызову.

Кроме величин активной и реактивной мощности и напряжения в диспетчерском пункте необходимо иметь, как уже указывалось в первой части настоящей книги, непрерывное указание частоты. Это указание целесообразно осуществлять на двух приборах: одном с нормальной шкалой и другом со шкалой в два периода для точного регулирования частоты. Оба эти прибора могут быть включены от местной сети переменного тока в диспетчерском пункте.

Помимо величин активной и реактивной нагрузки станций может потребоваться непрерывное телеизмерение нагрузки межрайонных связей или связей с соседними объединениями, а также нагрузки некоторых линий внутри системы, требующих по тем или иным причинам непрерывного контроля диспетчера.

Для всех остальных величин можно применять телеизмерение по вызову, причем телеизмерение давления пара часто целесообразно заменять сигнализацией пониженного или аварийного давления, производя ее при помощи устройств телесигнализации совместно с передачей других сигналов.

Величины активной и реактивной мощности напряжения и частоты, телеизмерение которых производится непрерывно, целесообразно одновременно записывать на самопишущих приборах. Эти приборы рекомендуется помещать, как указывалось выше, отдельно от указательных приборов диспетчерского пульта, размещая их на специальных панелях, по бокам диспетчерского щита.

Перейдем теперь к рассмотрению границ применения отдельных типов устройств телеизмерения. Эти границы в основном определяются свойствами линий связи и требованиями, которые предъявляются к линиям связи устройствами телеизмерения. С этой точки зрения можно разбить все устройства телеизмерения на три группы:

а) некомпенсированные устройства телеизмерения по методу интенсивности;

б) компенсационные устройства телеизмерения;

в) устройства телеизмерения импульсного типа.

С точки зрения простоты монтажа и обслуживания в диспетчерском пункте желательно иметь один тип устройств телеизмерения для всех контролируемых установок. В случае телеизмерения активной и реактивной мощности это вызывается также и тем, что получаемые с различных станций величины должны в диспетчерском пункте суммироваться, что наиболее просто осуществляется в случае однотипности телеизмерительных устройств. Поэтому при выборе типа устройств необходимо всегда учитывать не только условия данной установки, но также и условия, существующие в энергосистеме в целом. Практически это требование не всегда выполнимо.

Переходя к рассмотрению выбора устройств телеизмерения, начнем его с выбора суммирующих устройств.

Необходимо различать два случая работы суммирующих устройств: а) при суммировании внутри установки без передачи суммарной величины в диспетчерский пункт;

б) при передаче суммарной величины в диспетчерский пункт.

В первом случае выбор суммирующей установки можно производить без учета условий телепередачи, во втором эти условия необходимо учитывать. Недостатки и достоинства отдельных методов суммирования были изложены при их рассмотрении во второй части настоящей книги.

Для суммирования внутри станции могут быть применены любые методы. Наиболее целесообразно применение суммирования токов при помощи компенсационных устройств телеизмерения, которые дают как общую, так и частичную суммы без дополнительных погрешностей и удовлетворяют полностью всем остальным требованиям, предъявляемым к устройствам суммирования. В ряде случаев наиболее просто применение методов суммирования напряжений при выборе соответствующих телеизмерительных устройств (генераторных, выпрямительных, термоумформных и т. п.). Эти методы целесообразно применять, однако, только в случае сравнительно простых схем суммирования.

При необходимости передачи суммарной величины в диспетчерский пункт выбор метода суммирования в значительной степени определяется применяемым методом передачи. Здесь прежде всего нужно стараться применить для суммирования такие методы, которые позволили бы полученную от суммирующей установки величину использовать для непосредственной передачи на расстояние. Наиболее удобным является применение компенсационных методов, которые наиболее полно удовлетворяют требованиям суммирования и одновременного телеизмерения.

При осуществлении импульсных устройств телеизмерения наиболее целесообразным являлось бы применение и импульсных методов суммирования. Однако эти методы суммирования, отличающиеся значительной сложностью, являются, как уже указывалось во второй части настоящей книги, наименее совершенными и не удовлетворяют ряду требований, предъявляемых к суммирующим установкам. Поэтому при осуществлении передачи телеизмерений импульсно-частотными методами часто прибегают к суммированию при помощи сложения моментов, токов или напряжений, устанавливая промежуточные устройства для превращения суммарной величины тока или напряжения в импульсы. Выбор типа суммирующей установки определяется в этом случае местными условиями и величиной потребления тока, которую имеет промежуточный прибор.

Выбор типа телеизмерительных устройств определяется расстоянием передачи и родом линий связи, могущих быть использованными для передачи.

Границы применения устройств телеизмерения, работающих по методам интенсивности, определяются в основном величиной дополнительной погрешности, которую дают колебания сопротивления проводов и утечки в линии связи. Кроме того, применение этих методов ограничивается случаями, когда для них на линиях связи может быть выделен канал постоянного тока.

Выше (см. стр. 56) было показано, что зависимость между напряжением, даваемым телеизмерительным передатчиком в некомпенсирован-

ных устройствах телеизмерения, и силой тока, протекающей через приемный прибор, имеет вид:

$$U = I_2 \left[(R_n + R_k) \operatorname{ch} \gamma l + \left(\frac{R_n R_k}{z} + z \right) \operatorname{sh} \gamma l \right] = I_2 H(l),$$

где $H(l)$ — некоторый гиперболический коэффициент, зависящий от параметров телеизмерительной цепи, и, в частности, от параметров линии связи и ее длины. Изменение параметров линии связи вследствие изменения температурных и атмосферных условий в течение года, изменяя величину этого коэффициента, вызывает погрешность телеизмерения.

Сила тока в приемном приборе из написанного выше выражения

$$I_2 = \frac{U}{H(l)}.$$

Если рассчитать шкалу приемного прибора, задавшись некоторыми средними значениями километрического сопротивления проводов R и километрической проводимости изоляции G , то при отклонении этих параметров в одну сторону до значений R' и G' сила тока в приемном приборе изменится до величины

$$I'_2 = \frac{U}{H'(l)}.$$

Предположим, что $I'_2 > I_2$. Тогда погрешность телеизмерения

$$a'\% = \frac{I'_2 - I_2}{I_2} 100.$$

При отклонении параметров линии связи в другую сторону до значений R'' и G''

$$I''_2 = \frac{U}{H''(l)},$$

причем

$$I''_2 < I_2.$$

Погрешность телеизмерения

$$a''\% = \frac{I_2 - I''_2}{I_2} 100.$$

Если выбрать расчетные величины R и G таким образом, чтобы погрешности телеизмерения при максимальном отклонении параметров линии связи в ту или другую сторону были одинаковы, то очевидно, что величина погрешности в течение года будет минимальной.¹

Для этого нужно, чтобы

$$a' = a'' = a, \quad \frac{I'_2 - I_2}{I_2} 100 = \frac{I_2 - I''_2}{I_2} 100,$$

¹ См. Жданов Г. М., Теоретические пределы применимости систем энергетической телеметрии. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук, Московский энергетический институт им. Молотова, 1937 г.

откуда

$$I_2 = \frac{1}{2} (I'_2 + I''_2).$$

Обычно шкалу приемного прибора в устройствах телеизмерения некомпенсированного типа рассчитывают исходя из величины сопротивления проводов линии связи при температуре, равной нулю, и проводимости $G = 0$. Легко показать, что такой расчет не всегда является правильным. Для этого рассмотрим изменение параметров линии связи в течение года.

Как уже говорилось выше, для устройств телеизмерения в энергетических системах могут применяться или кабельные или воздушные линии связи. Колебания температуры в течение года можно принять для средней полосы: для подземных кабелей $\pm 20^\circ \text{C}$ и для воздушных кабелей $\pm 40^\circ \text{C}$.¹ Для кабельных линий связи величина проводимости G близка к нулю и в течение года не претерпевает заметных изменений. Для этих линий связи расчет по величине $G = 0$ является поэтому правильным.

Для воздушных линий связи сопротивление изоляции изменяется:

- а) для линий с железными проводами от $10\,000 \text{ M}\Omega/\text{km}$ до $2 \text{ M}\Omega/\text{km}^2$;
- б) для линий с медными проводами от $10\,000 \text{ M}\Omega/\text{km}$ до $1 \text{ M}\Omega/\text{km}$.

Колебания температуры, как и выше, $\pm 40^\circ \text{C}$. Изменение сопротивления и проводимости для различных времен года и получаемая при этом погрешность телеизмерения указаны в табл. 9.

ТАБЛИЦА 9

	В е л и ч и н а		
	Сопротивление проводов	Проводимость изоляции	Погрешность
Зима	$R' < R_{t=0}$	$G' = 0$	$+\Delta I_2$
Весна, осень	$R'' = R_{t=0}$	$G'' > 0$	$-\Delta I_2$
Лето	$R''' > R_{t=0}$	$G''' = 0$	$-\Delta I_2$

Таким образом если рассчитать шкалу приемного прибора по $R = R_{t=0}$ и $G = 0$, то зимой будет иметь место положительная погрешность вследствие того, что сопротивление проводов связи зимой уменьшается. Весной и осенью сопротивление проводов можно считать равным расчетному, но проводимость $G'' > 0$. Это дает отрицательную погрешность. Летом проводимость можно считать равной нулю, но $R''' > R_{t=0}$. Это также дает отрицательную погрешность.

Расчет по величине $G = 0$ будет правильным для воздушных линий только в тех случаях, когда максимальные погрешности полу-

¹ По нормам Международного консультативного комитета колебания температуры для линий связи следует брать $\pm 20^\circ \text{C}$. Для энергосистем эти пределы следует, однако, увеличить, так как здесь имеют место более короткие линии, для которых колебания температуры могут быть более резкими.

² Верхний предел сопротивления изоляции не нормирован и взят по расчету.

чаются для зимы и лета (для обоих этих времен года $G = 0$). Если же максимальная погрешность получается весной и осенью, то, для того чтобы получить в течение года минимальные погрешности, нужно вести расчет по $G \neq 0$.

Подсчеты, сделанные для воздушных линий связи с железными проводами диаметром 5 и 4 мм с колебаниями сопротивления изоляции в указанных выше пределах показывают, что величина погрешности весной и осенью становится больше, чем зимой и летом, начиная с 10—15 км для сопротивлений $R_n + R_k = 100\text{—}200$ тыс. ом и примерно с 50 км для сопротивлений $R_n + R_k = 10\text{—}20$ тыс. ом.

Для линий с повышенными колебаниями утечки эти расстояния сокращаются.

Условием годовой минимальной погрешности является

$$I_2 = \frac{1}{2} (I'_2 + I''_2),$$

$$\text{где } I_2 = \frac{U}{H(l)}; \quad I'_2 = \frac{U}{H'(l)} \text{ и } I''_2 = \frac{U}{H''(l)}.$$

Подставляя эти величины, получим

$$H(l) = \frac{2H'(l) \cdot H''(l)}{H'(l) + H''(l)},$$

где $H(l)$ — гиперболический коэффициент расчетного режима, позволяющий определить величину расчетной силы тока, при которой получится минимальная погрешность.

Выражение для $H(l)$ можно упростить. Рассмотрим прежде всего, каким образом нужно размещать сопротивления R_n и R_k . Для этого обозначим:

$$R_n + R_k = R_c; \quad R_n = nR_c \text{ и } R_k = kR_c.$$

Отсюда

$$n + k = 1.$$

Как уже указывалось во второй части настоящей книги, R_n и R_k сопротивления в начале и в конце линии связи включают в себя сопротивления приемного и передающего приборов и балластное сопротивление.¹ Подставляя эти величины в выражения для гиперболического коэффициента, получим

$$\begin{aligned} H(l) &= (R_n + R_k) \operatorname{ch} \gamma l + \left(\frac{R_n R_k}{Z} + Z \right) \operatorname{sh} \gamma l = R_c \operatorname{ch} \gamma l + \\ &+ \left(\frac{n \cdot k \cdot R_c^2}{Z} + Z \right) \operatorname{sh} \gamma l = R_c \operatorname{ch} \gamma l + \left(\frac{k \cdot R_c^2}{Z} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{k^2 R_c^2}{Z} + Z \right) \operatorname{sh} \gamma l. \end{aligned}$$

¹ Вследствие того что сопротивления передатчика и приемника обычно очень малы по сравнению с величиной балластного сопротивления, последнее же выполняется из материала с малым температурным коэффициентом, можно считать, что величины R_n и R_k не зависят от температуры.

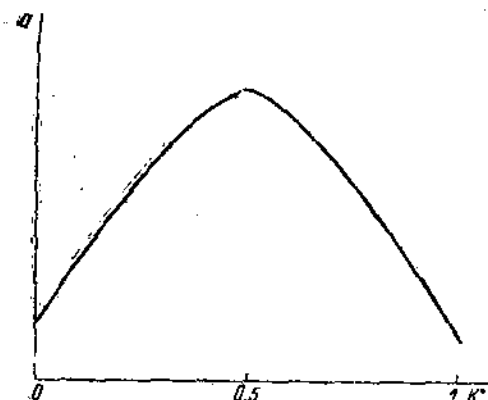
Определим, при каком соотношении между R_n и R_k , определяемом значением коэффициента k , погрешность телеизмерения будет минимальной. Величина погрешности, если определять ее по зимнему режиму, будет равна

$$a = \frac{I'_2 - I_2}{I_2} = \frac{I'_2}{I_2} - 1 = \frac{H(l)}{H'(l)} - 1.$$

Заменив величину $H(l)$ ее значением, получим

$$a = \frac{2H'(l)H''(l)}{H''(l)(H'(l) + H''(l))} - 1 = \frac{H''(l) - H'(l)}{H''(l) + H'(l)} =$$

$$= \frac{\left[R_c \operatorname{ch} \gamma'' l + \left(\frac{k R_c^2}{Z''} - \frac{k^2 R_c^2}{Z''} + Z'' \right) \operatorname{sh} \gamma'' l \right] - \left[R_c \operatorname{ch} \gamma' l + \left(\frac{k R_c^2}{Z'} - \frac{k^2 R_c^2}{Z'} + Z' \right) \operatorname{sh} \gamma' l \right]}{\left[R_c \operatorname{ch} \gamma'' l + \left(\frac{k R_c^2}{Z''} - \frac{k^2 R_c^2}{Z''} + Z'' \right) \operatorname{sh} \gamma'' l \right] + \left[R_c \operatorname{ch} \gamma' l + \left(\frac{k R_c^2}{Z'} - \frac{k^2 R_c^2}{Z'} + Z' \right) \operatorname{sh} \gamma' l \right]}$$



Фиг. 323. Изменение погрешности в линии связи в зависимости от размещения балластного сопротивления.

Взяв первую и вторую производные по k , получим, что функция $a = f(k)$ имеет максимум при $k = 1/2$. Изменение величины погрешности в зависимости от k будет иметь вид, изображенный на фиг. 323.

Минимальная погрешность получается при $k = 0$ или $k = 1$, т. е. в том случае, если все сопротивление R_c сосредоточено на одном из концов линии связи. Поскольку в величину R_c входят сопротивления передатчика и приемника, это осуществить нельзя. Поэтому балластное сопротивление выгодно помещать на том конце, где приемно-передающая аппаратура имеет большее сопротивление.

Предположим для простоты, что сопротивление передатчика очень мало и им по сравнению с сопротивлением остальной телеизмерительной цепи можно пренебречь. Тогда положив $k = 1$, получим

$$H(l) = R_c \operatorname{ch} \gamma l + \left(\frac{k R_c^2}{Z} - \frac{k^2 R_c^2}{Z} + Z \right) \operatorname{sh} \gamma l = R_c \operatorname{ch} \gamma l + Z \operatorname{sh} \gamma l$$

Величина погрешности:

$$a\% = \left[\frac{H(l)}{H'(l)} - 1 \right] 100 = \left(\frac{R_c \operatorname{ch} \gamma l + Z \operatorname{sh} \gamma l}{R_c \operatorname{ch} \gamma' l + Z' \operatorname{sh} \gamma' l} - 1 \right) 100.$$

Для зимнего режима, для которого написано выражение погрешности, можно положить $G' = 0$. Тогда

$$Z' = \sqrt{\frac{R'}{G'}} = \infty; \quad \gamma' = \sqrt{R'G'} = 0;$$

$$\operatorname{ch} \gamma' l = 1; \quad Z' \operatorname{sh} \gamma' l = \infty \cdot 0.$$

Раскроем полученную неопределенность:

$$\begin{aligned} Z' \operatorname{sh} \gamma' l &= \frac{\sqrt{R'} \operatorname{sh}(\sqrt{R'G'} l)}{\sqrt{G'}}, \\ Z' \operatorname{sh} \gamma' l \lim_{G' \rightarrow 0} &= \frac{\frac{d}{dG'} [\sqrt{R'} \operatorname{sh}(\sqrt{R'G'} l)]}{\frac{d}{dG'} \sqrt{G'}} = \\ &= \frac{\sqrt{R'} \operatorname{ch} \sqrt{R'G'} l \cdot \frac{1}{2} \sqrt{R'G'} l}{\frac{1}{2} \sqrt{G'}} = R' l. \end{aligned}$$

Таким образом

$$H'(l) = R_c + R' l$$

и

$$\alpha\% = \left(\frac{R_c \operatorname{ch} \gamma l + Z \operatorname{sh} \gamma l}{R_c + R' l} - 1 \right) 100,$$

так как величина погрешности одинакова как для зимнего, так и для весенне-осеннего режимов, то можно написать:

$$\alpha\% = \pm \left(\frac{R_c \operatorname{ch} \gamma l + Z \operatorname{sh} \gamma l}{R_c + R' l} - 1 \right) 100.$$

Выражение для определения расчетных параметров будет выглядеть при внесении в него упомянутых выше упрощений следующим образом:

$$H(l) = \frac{2H'(l)H''(l)}{H'(l) + H''(l)}$$

или

$$H(l) = \frac{2(R_c + R' l)(R_c \operatorname{ch} \gamma'' l + Z'' \operatorname{sh} \gamma'' l)}{(R_c + R' l) + (R_c \operatorname{ch} \gamma'' l + Z'' \operatorname{sh} \gamma'' l)}.$$

Подсчет показывает, что для железных проводов диаметром 4—5 мм при малых балластных сопротивлениях порядка $R_c = 100R$ можно принять расчетную величину $G = 0$.¹

При средних значениях балластного сопротивления порядка $R_c = 1000R$ (12—20 тысяч ом) для значения нижнего предела изоляции $G_{\max} = 0,5 \cdot 10^{-6}$ З/км можно принимать расчетную величину $G_{\text{расч}} = 0$ только до расстояний, меньших 50—60 км. При больших расстояниях нужно определять величину расчетной проводимости по приведенной выше формуле.

При значениях балластного сопротивления порядка $R_c = 10000R$ (120—200 тысяч ом) величину $G_{\text{расч}} = 0$ можно брать только для рас-

¹ Приводимые ниже цифры, а также кривые фиг. 324—326 взяты из диссертации инж. Жданова Г. М. «Теоретические пределы применимости систем энергетической телеметрии».

стояний до 10—15 км. В табл. 10 и 11 приведены значения $G_{расч}$ для различных длин линий и величин R_c для случая нормального значения нижнего предела проводимости изоляции и для случая понижения изоляции в 5 раз по сравнению с нормированной.

ТАБЛИЦА 10

Значение $G_{расч}$ при $G_{max} = 0,510^{-8}$ $\bar{\sigma}/\text{км}$ и $G_{min} = 0$ для воздушных линий с железными проводами

Длина линии в км	Провода $\varnothing = 5 \text{ мм}$			Провода $\varnothing = 4 \text{ мм}$		
	При $R_c = 100 R$	При $R_c = 1000 R$	При $R_c = 10000 R$	При $R_c = 100 R$	При $R_c = 1000 R$	При $R_c = 10000 R$
25	0	0	$19,4 \cdot 10^{-8}$	0	0	$21,0 \cdot 10^{-8}$
50	0	0	$21,2 \cdot 10^{-8}$	0	$5 \cdot 10^{-8}$	$22,9 \cdot 10^{-8}$
100	0	$8,9 \cdot 10^{-8}$	$23,0 \cdot 10^{-8}$	0	$14,5 \cdot 10^{-8}$	$23,5 \cdot 10^{-8}$

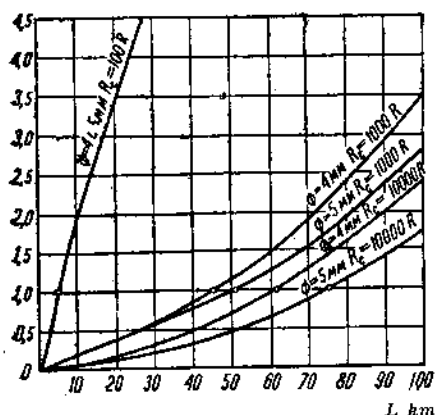
ТАБЛИЦА 11

Значение $G_{расч}$ при $G_{max} = 2,5 \cdot 10^{-6}$ $\bar{\sigma}/\text{км}$ и $G_{min} = 0$ для воздушных линий с железными проводами

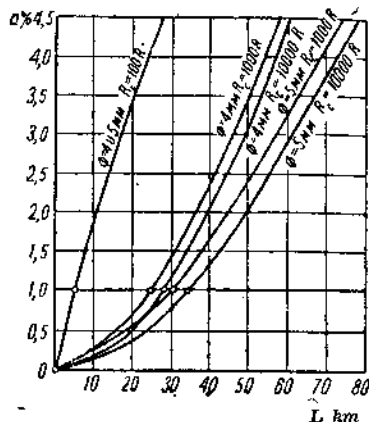
Длина линии в км	Провода $\varnothing = 5 \text{ мм}$			Провода $\varnothing = 4 \text{ мм}$		
	При $R_c = 100 R$	При $R_c = 1000 R$	При $R_c = 10000 R$	При $R_c = 100 R$	При $R_c = 1000 R$	При $R_c = 10000 R$
25	0	$6,2 \cdot 10^{-7}$	$11,8 \cdot 10^{-7}$	0	$8,35 \cdot 10^{-7}$	$12,02 \cdot 10^{-7}$
50	0	$9,16 \cdot 10^{-7}$	$11,98 \cdot 10^{-7}$	0	$10,13 \cdot 10^{-7}$	$11,98 \cdot 10^{-7}$
100	0	$9,82 \cdot 10^{-7}$	$10,97 \cdot 10^{-7}$	$2,86 \cdot 10^{-7}$	$10,23 \cdot 10^{-7}$	$11,21 \cdot 10^{-7}$

Выбор расчетной величины G по минимальной годовой погрешности позволяет значительно увеличить дальность передачи или же при одной и той же дальности сократить погрешность в линии связи. На фиг. 324 и 325 приведены кривые, характеризующие изменение величины

погрешности в линии связи в зависимости от длины ее для различных значений балластного сопротивления и различных диаметров проводов связи при расчете шкалы приемного прибора по методу минимальной годовой погрешности.



Фиг. 324. Изменение погрешности линии связи для некомпенсированных устройств телеизмерения по методу интенсивности в зависимости от расстояния передачи и величины R_c при $G_{\max} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ } \bar{\sigma}/\text{km}$.



Фиг. 325. Изменение погрешности линии связи для некомпенсированных устройств телеизмерения в зависимости от расстояния передачи и величины R_c при $G_{\max} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ } \bar{\sigma}/\text{km}$.

В табл. 12 приведены предельные расстояния передачи, которые получаются при ограничении погрешности в линии связи величиной в 1% и расчете по методу минимальной годовой погрешности и по обыч-

ТАБЛИЦА 12

Предельные расстояния передачи при $\alpha = 1\%$ и расчете по методу минимальной годовой погрешности

Метод расчета	$G_{\max} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ } \bar{\sigma}/\text{km}$				$G_{\max} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ } \bar{\sigma}/\text{km}$			
	$\varnothing = 4 \text{ mm}$		$\varnothing = 5 \text{ mm}$		$\varnothing = 4 \text{ mm}$		$\varnothing = 5 \text{ mm}$	
	$R_c = 1000 \text{ } \Omega$ km	$R_c = 10000 \text{ } \Omega$ km	$R_c = 1000 \text{ } \Omega$ km	$R_c = 10000 \text{ } \Omega$ km	$R_c = 1000 \text{ } \Omega$ km	$R_c = 10000 \text{ } \Omega$ km	$R_c = 1000 \text{ } \Omega$ km	$R_c = 10000 \text{ } \Omega$ km
1. Минимальной годовой погрешности	46,8	61,3	51,3	76,3	24,3	28,0	29,5	35,0
2. Обычный	29,5	45,0	33,3	56,0	16,5	20,3	19,8	25,5

ному методу ($G_{расч} = 0$). В табл. 13 приведены величины погрешности, которые получаются при расчете шкалы приемного прибора по обычному методу и передаче на расстояния, являющиеся предельными при минимальной годовой погрешности.

ТАБЛИЦА 13

Погрешность линии связи при предельных расстояниях

	$G_{max} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ } \bar{\sigma}/\text{km}$				$G_{max} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ } \bar{\sigma}/\text{km}$			
	$\varnothing = 4 \text{ mm}$		$\varnothing = 5 \text{ mm}$		$\varnothing = 4 \text{ mm}$		$\varnothing = 5 \text{ mm}$	
1. Предельная дальность в км	46,8	61,3	51,3	76,3	24,3	28,0	29,5	35,0
2. Погрешность при расчете по $G = 0$ в %	1,95	1,84	1,80	1,82	1,94	1,92	1,92	1,90

Примечание. При расчете по методу минимальной годовой погрешности для всех указанных в таблице расстояний погрешность равна 1%.

Цифры приведенные в табл. 12 показывают, что расчет шкалы приемного прибора по методу минимальной годовой погрешности позволяет увеличивать дальность передачи на 36—38% или при одной и той же дальности передачи уменьшать величину погрешности почти вдвое. Эти цифры показывают также, что при помощи некомпенсированных устройств телеизмерения по воздушным линиям с железными проводами можно перекрыть расстояния до 50—60 км, т. е. значительную часть из встречающихся в энергосистемах расстояний.

При применении кабельных линий связи, для которых можно взять $G_{расч} = 0$, выведенное выше выражение для величины погрешности в линии связи упрощается. Гиперболический коэффициент для расчетного режима при $G = 0$ будет иметь вид:

$$H(l) = R_c + Rl.$$

Так как

$$R' = (1 + \alpha \Delta t)R = \delta R,$$

где α — температурный коэффициент,

Δt — разность температур между расчетным и зимним режимом, то

$$H'(l) = R_c + R'l = R_c + \delta Rl.$$

Выражение для погрешности примет вид:

$$a\% = \pm \left[\frac{H(l)}{H'(l)} - 1 \right] 100 = \pm \left(\frac{R_c + Rl}{R_c + \delta Rl} - 1 \right) 100 = \pm \frac{(1 - \delta) l}{\frac{R_c}{R} + \delta l} 100.$$

Отсюда легко выразить величину l — дальность передачи в зависимости от величины погрешности:

$$l = \frac{\alpha}{100(\delta - 1) - \alpha\delta} \frac{R_c}{R}.$$

Для меди $\alpha = 0,004$. Задавшись колебаниями температуры в $\pm 20^\circ \text{C}$, получим

$$\delta = (1 + \alpha \Delta t) = 1,08.$$

При погрешности в линии связи в 1% будем иметь дальность передачи:

при $R_c = 100 R (12 - 20\,000 \, \Omega) \dots 14,4 \text{ km}$

» $R_c = 1\,000 R (120 - 200\,000 \, \Omega) \dots 144 \text{ km}.$

Выбор величины баластного сопротивления, от которой в основном зависит дальность передачи, ограничен величиной напряжения, даваемого передатчиком и чувствительностью приемных приборов.

В табл. 14 приведены цифры, характеризующие дальность передачи некомпенсированных устройств телеизмерения при применении кабельных линий связи, ограничении погрешности в линии связи величиной в 1% и силе тока в линии связи в 1 ма.

ТАБЛИЦА 14

Дальность передачи по кабельным линиям связи
при $\alpha = 1\%$ и $i = 1 \text{ ма}$

	Напряжение, даваемое передатчиком в В	Дальность передачи в км		
		$\varnothing = 0,4 \text{ мм}$	$\varnothing = 0,5 \text{ мм}$	$\varnothing = 0,6 \text{ мм}$
1	1,0	0,64	1,0	1,4
2	10,0	6,4	10,0	14,0
3	20,0	15,3	24,0	34,0

Удовлетворительная дальность передачи получается только при напряжении выше 10 В.

Малые величины баластных сопротивлений порядка 100—200 R допускают, как это можно видеть из кривых фиг. 324, совершенно неудовлетворительные расстояния телепередачи. Приемлемые для энергосистем расстояния получаются только при величине баластных сопротивлений порядка 1 000 R и выше (для воздушных линий с железными проводами 12—20 000 Ω).

Дальнейшее повышение величины баластного сопротивления, не давая значительного увеличения дальности передачи, приводит к уменьшению величины тока, передаваемого по линии связи, что требует применения приемных приборов большой чувствительности. Примером этому может служить потенциометрическое устройство фирмы

Сиенс, в котором величина баластного сопротивления достигает 400 000 Ω , а сила тока в линии составляет 0,05 ма.

При необходимости применения больших баластных сопротивлений целесообразно поэтому переходить к применению компенсационных устройств телеизмерения, которые, как будет показано ниже, представляют собой предельный случай некомпенсированных устройств телеизмерения с величиной баластного сопротивления, равной бесконечности.

Рассмотрим сначала компенсационные устройства телеизмерения с нулевым током. Так как для этих устройств сила тока $I_2 = 0$, то уравнение линии связи будет иметь вид:

$$U = U_2 \operatorname{ch} \gamma l.$$

Для зимнего режима

$$U = U'_2 \operatorname{ch} \gamma' l, \text{ где } U'_2 > U_2.$$

Для осенне-весеннего режима

$$U = U''_2 \operatorname{ch} \gamma'' l, \text{ где } U''_2 < U_2.$$

Погрешность линии связи

$$a = \frac{U'_2 - U_2}{U_2} = \frac{U_2 - U''_2}{U_2}.$$

Отсюда

$$U_2 = \frac{1}{2} (U'_2 + U''_2).$$

Выражая величины U_2 через U и $\operatorname{ch} \gamma l$, получим

$$\operatorname{ch} \gamma l = \frac{2 \operatorname{ch} \gamma' l \operatorname{ch} \gamma'' l}{\operatorname{ch} \gamma' l + \operatorname{ch} \gamma'' l}.$$

Определяя погрешность по зимнему режиму, будем иметь

$$a = \frac{U'_2}{U_2} - 1 = \frac{\operatorname{ch} \gamma l}{\operatorname{ch} \gamma' l} - 1 = \frac{2 \operatorname{ch} \gamma'' l}{\operatorname{ch} \gamma' l + \operatorname{ch} \gamma'' l} - 1 = \\ = \frac{\operatorname{ch} \gamma'' l - \operatorname{ch} \gamma' l}{\operatorname{ch} \gamma' l + \operatorname{ch} \gamma'' l}.$$

Для зимнего режима можно взять $G' = 0$ и $\operatorname{ch} \gamma' l = 1$. Поэтому окончательно будем иметь

$$a_{0/0} = \frac{\operatorname{ch} \gamma'' l - 1}{\operatorname{ch} \gamma'' l + 1} 100.$$

Это выражение может быть получено из выражения, определяющего величину погрешности в некомпенсированных устройствах телеизмерения, если принять $R_c = \infty$.

Выше мы имели для некомпенсированных устройств телеизмерения

$$a = \frac{H(l)}{H'(l)} - 1.$$

Подставив сюда

$$H(l) = \frac{2 H'(l) H''(l)}{H'(l) + H''(l)},$$

получим

$$a = \frac{2H''(l)}{H'(l) + H''(l)} - 1 = \frac{H''(l) - H'(l)}{H''(l) + H'(l)} =$$

$$= \frac{(R_c \operatorname{ch} \gamma'' l + Z'' \operatorname{sh} \gamma'' l) - (R_c \operatorname{ch} \gamma' l + Z' \operatorname{sh} \gamma' l)}{(R_c \operatorname{ch} \gamma'' l + Z'' \operatorname{sh} \gamma'' l) + (R_c \operatorname{ch} \gamma' l + Z' \operatorname{sh} \gamma' l)} =$$

$$= \frac{\left(\operatorname{ch} \gamma'' l + \frac{Z''}{R_c} \operatorname{sh} \gamma'' l \right) - \left(\operatorname{ch} \gamma' l + \frac{Z'}{R_c} \operatorname{sh} \gamma' l \right)}{\left(\operatorname{ch} \gamma'' l + \frac{Z''}{R_c} \operatorname{sh} \gamma'' l \right) + \left(\operatorname{ch} \gamma' l + \frac{Z'}{R_c} \operatorname{sh} \gamma' l \right)},$$

при $R_c = \infty$ будем иметь

$$a = \frac{\operatorname{ch} \gamma'' l - \operatorname{ch} \gamma' l}{\operatorname{ch} \gamma'' l + \operatorname{ch} \gamma' l},$$

т. е. выражение, которое выше было получено для компенсационных устройств с нулевым током. Поэтому эти устройства можно рассматривать как теоретически предельный случай некомпенсированных устройств телеизмерения при бесконечно большом балластном сопротивлении.

Для компенсированных устройств с рабочим током будем иметь

$$I_1 = I_2 \operatorname{ch} \gamma l + \frac{U_2}{Z} \operatorname{sh} \gamma l,$$

так как $U_2 = I_2 R_c$, то

$$I_1 = I_2 \left(\operatorname{ch} \gamma l + \frac{R_c}{Z} \operatorname{sh} \gamma l \right).$$

Для зимнего режима

$$I_1 = I'_2 \left(\operatorname{ch} \gamma' l + \frac{R_c}{Z} \operatorname{sh} \gamma' l \right); \quad \text{где } I'_2 > I_2.$$

Для осенне-весеннего режима

$$I_1 = I''_2 \left(\operatorname{ch} \gamma'' l + \frac{R_c}{Z''} \operatorname{sh} \gamma'' l \right); \quad \text{где } I''_2 < I_2.$$

Погрешность линии связи

$$a = \frac{I'_2 - I_2}{I_2} = \frac{I_2 - I''_2}{I_2}.$$

Определяя погрешность по зимнему режиму, получим

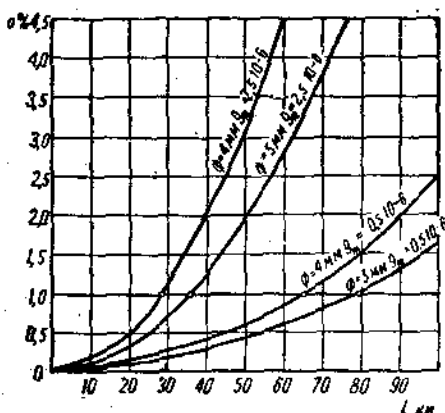
$$a = \frac{I'_2}{I_2} - 1 = \frac{\operatorname{ch} \gamma l + \frac{R_c}{Z} \operatorname{sh} \gamma l}{\operatorname{ch} \gamma' l + \frac{R_c}{Z} \operatorname{sh} \gamma' l} - 1,$$

так как $\gamma' < \gamma$, то величина погрешности будет тем меньше, чем меньше величина R_c , и будет иметь минимальную величину при $R_c = 0$.

Таким образом в компенсационных устройствах на рабочем токе нужно стремиться к тому, чтобы сопротивление на приемном конце было возможно меньше.

Приняв $R_c = 0$, получим

$$\alpha = \frac{\operatorname{ch} \gamma l}{\operatorname{ch} \gamma' l} - 1.$$



Фиг. 326. Изменение погрешности в линии связи в зависимости от расстояния для компенсированных устройств телеизмерения.

Такое же выражение мы имели для компенсационных устройств на нулевом токе. Таким образом компенсационные устройства телеизмерения на рабочем токе, так же как и на нулевом, можно рассматривать как предельный случай некомпенсированных устройств.

На фиг. 326 приведены кривые, характеризующие изменение погрешности в линии связи для компенсационных устройств телеизмерения в зависимости от расстояния передачи для воздушных линий с железными проводами диаметром 4 и 5 мм и проводимости $G_{\max} = 0,5 \cdot 10^{-6}$ Ом/км и $G_{\max} = 2,5 \cdot 10^{-6}$ Ом/км.

Расстояния, которые перекрываются компенсационными устройствами телеизмерения при ограничении погрешности в линии связи величиной в 1%, указаны в табл. 15.

ТАБЛИЦА 15

Дальность передачи в компенсированных устройствах при $\alpha = 1\%$

Диаметр проводов в мм	Дальность передачи в км	
	$G_{\max} = 0,5 \cdot 10^{-6}$ Ом/км	$G_{\max} = 2,5 \cdot 10^{-6}$ Ом/км
4	64	28,2
5	79	35,8

В табл. 16 приведены цифры, характеризующие эффект от расчета шкалы приемного прибора по $G_{\text{расч}}$ выбираемому по оптимальным условиям по сравнению с расчетом по $G=0$.

Таким образом при компенсированных устройствах телеизмерения применение метода минимальной годовой погрешности, так же как и при применении некомпенсированных устройств телеизмерения, дает значительное увеличение дальности передачи и сокращение погрешности при одной и той же дальности передачи.

ТАБЛИЦА 16

Дальность передачи и погрешность для максимальной дальности передачи при расчете по $G=0$ в процентах от тех же величин, получающихся при расчете по оптимальной величине $G_{\text{раск}}$

№ по пор.	G_{max} $\Omega/\text{км}$	Диаметр провода в мм	Дальность пере- дачи в % от дальности пере- дачи при расчете по $G_{\text{опт}}$	Погрешность в % от погрешности при расчете по $G_{\text{опт}}$
1	$0,5 \cdot 10^{-6}$	4	70,2	204
2	$0,5 \cdot 10^{-6}$	5	72	198
3	$2,5 \cdot 10^{-6}$	4	71,5	194
4	$2,5 \cdot 10^{-6}$	5	69,8	201

При работе по кабельным линиям связи, где утечка незначительна, дальность передачи при компенсационных устройствах телеизмерения определяется почти исключительно конструктивным выполнением телеизмерительного устройства и может составлять весьма значительную величину (как указывалось при описании компенсационных устройств телеизмерения, максимальное сопротивление линии связи может доходить для них до 10 000 Ω).

Следует отметить большое значение состояния линии связи. В табл. 17 приведены цифры, характеризующие уменьшение дальности передачи в компенсированных и некомпенсированных устройствах телеизмерения при повышении утечек в линии связи.

ТАБЛИЦА 17

Уменьшение дальности передачи при повышении величины утечки $a = 1\%$

№ по пор.	Тип устройства телеизмерения	Диаметр провода в мм	Дальность передачи в км		Уменьшение дальности передачи в %
			$G_{\text{max}} = 0,5 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{км}$	$G_{\text{max}} = 2,5 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{км}$	
1	Некомпенсированные $R_c = 1000 R$	4	46,8	24,3	48
2	То же	5	51,3	29,5	42,5
3	Компенсированные	4	64	28,2	55,9
4	То же	5	79	35,8	54,6

Эти цифры показывают, насколько важно при передаче телеизмерений поддержание изоляции в пределах норм МКК.

Приведенные цифры показывают, что компенсированные и некомпенсированные устройства телеизмерения при передаче по воздушным линиям связи с железными проводами, удовлетворяющим нормам МКК, позволяют перекрыть расстояние до 70—50 км. При наличии воздушных линий связи с медными или биметаллическими проводами эти расстояния могут быть увеличены.

Приведенные выше цифры действительны только для одиночной передачи. При суммировании расстояния передачи для устройств телеизмерения, работающих по методам интенсивности, значительно уменьшаются, так как погрешности линий связи для отдельных слагаемых суммируются и увеличивают величину суммарной погрешности.

При невозможности выделения канала связи постоянного тока или при расстояниях передачи, превышающих указанные выше, необходимо переходить к применению импульсных устройств телеизмерения¹. Границы применения этих устройств определяются, главным образом, характером линий связи, представленных для их работы.

В основном импульсные устройства телеизмерения могут быть разделены с точки зрения передачи по линиям связи на две группы:

а) устройства телеизмерения с малым числом импульса (от 2,5—3 до 12 в секунду);

б) устройства телеизмерения с большим числом импульсов и частотные устройства (от 30—50 и выше импульсов в секунду).

С точки зрения действия приемников более благоприятным является применение устройств с большим числом импульсов, так как в этом случае легче получить устойчивое положение стрелки приемного прибора. Однако с точки зрения работы контактов приемника и передатчика и с точки зрения использования линии связи более благоприятным является применение устройств телеизмерения с малым числом импульсов. Контактam передающих и приемных реле приходится осуществлять в импульсно-частотных устройствах телеизмерения очень большое число переключений. Это большое число переключений вызывает большой износ контактов. Границей допустимого уменьшения частоты импульсов являются условия получения устойчивого положения стрелки измерительного прибора. При времени установки в 10 сек. и максимальных колебаниях стрелки приемного прибора в 1% от шкалы при 20% показаний прибора наименьшая частота импульсов составляет 2,35 импульса в секунду.

Малое число импульсов желательно также иметь и с точки зрения использования линии связи. Устройства телеизмерения с большим числом импульсов могут работать только в тональной полосе частот или при помощи передачи высокими частотами. В подтональной полосе частот от 0 до 150 Hz при использовании этой полосы для двух-трех передач и в полосе тональных частот при многократном использовании этой частоты возможна работа только устройств телеизмерения

¹ Дальнейшие рассуждения относятся как к время-импульсным, так и к частотно-импульсным устройствам.

с малым числом импульсов. При передаче телеизмерений постоянным током занимаемую ими полосу частот целесообразно ограничивать величиной 25—30 Hz, чтобы не мешать передаче индукторного вызова. Так как для передачи импульсов прямоугольной формы нужно сохранить минимум третью гармонику, то максимальное число импульсов должно быть не больше 8—10 импульсов в секунду. При передаче переменным током в качестве несущей частоты выбирают обычно частоту 100 Hz. Выбор этой частоты объясняется стремлением избавиться от влияния промышленного тока 50 Hz или его третьей гармоники. Как известно, прерывание основной несущей частоты можно рассматривать как модулирование тока с глубиной модуляции $M = 100\%$. Из теории переменных токов известно, что модулированный ток представляет собой ток, состоящий из основной несущей частоты f_n и двух боковых полос $f_n - \Sigma f_k$ и $f_n + \Sigma f_k$, где f_k — модулирующая низкая частота. При передаче 100-периодным током боковая полоса часто не должна превосходить 150 периодов, так как эта частота является границей подтонального канала связи и более высокие частоты принадлежат уже к тональной полосе частот. Так как и в этом случае для получения прямоугольной формы импульсов должна быть сохранена минимум третья гармоника, то число импульсов не должно превышать 16 импульсов в секунду. Такие же соотношения имеют место и при передаче в тональном и надтональном каналах связи, а также при передаче высокой частотой по проводным линиям связи или по линиям высокого напряжения. Здесь передача может осуществляться или с помощью устройства многократной передачи (12 или 18 каналов) или же путем выделения внутри полосы тональных частот узкого канала связи. В первом случае ширина полосы частот для каждой передачи составляет обычно от 100 до 120 Hz, во втором же случае она не должна быть больше 100 Hz, так как выделение более широкой полосы частот отражается на ясности разговора. Таким образом и в этом случае число импульсов не должно превосходить 16 импульсов в секунду.

Развернутая классификация

а) По способу передачи	б) По влиянию параметров линий связи	в) По способу компенсации	г) По роду передаваемых импульсов	д) По роду передаваемого тока	е) По способу получения вспомогательной величины	ж) По принципу действия компенсационных устройств
1. По методу интенсивности	1. Некомпенсированные			1. Постоянного тока	1. Без вспомогательного источника тока	
					2. С вспомогательным источником тока	
				2. Переменного тока промышленной частоты	2. С вспомогательным источником тока	
	2. Компенсированные	1. На рабочем токе		1. Постоянного тока	2. С вспомогательным источником тока	1. С следящим устройством
						2. С моментными весами
						3. Со сравнением скоростей

1 См. примечание 6 к приложению 2.

устройств телеизмерения

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

а) По принципу действия и конструкции передатчиков	и) По принципу действия и конструкции приемников	Фирмы, производящие устройство ¹
01 Термоумформерные 02 Генераторные 03 Выпрямительные с твердыми выпрямителями	01 Магнитоэлектрический прибор 01 То же 01 То же	Линкольн, Кембридж ЦЛЭМ, Аровверке ВЭИ
04 Выпрямительные с электронными выпрямителями 05 Индукционно-выпрямительные 06 Потенциометрические 07 Реостатные 08 Реостатно-генераторные 09 Делитель напряжения 10 " тока	01 То же 01 Магнитоэлектрический прибор 01 То же 02 То же, лагометр 03 Мостиковая схема 01 Магнитоэлектрический прибор 02 То же, лагометр 03 Мостиковая схема 01 Магнитоэлектрический прибор 02 То же, лагометр 02 То же	ОЛИЗ, ВЭИ, Джeneral Электрик К°, Вестингауз ОЛИЗ, АЕГ, Эллот Сименс Бейли НИИТ Республик Флоу Митер ВЭИ, Сименс Болп и Рейтер Гартман Браун
07 Реостатные 10 Делитель тока 11 Ваттметрический 12 Ферродинамический прибор 13 Фазовый	04 Электромагнитный лагометр 03 Мостиковая схема 04 Электромагнитный лагометр 05 Индукционный лагометр 06 Ваттметр 07 Ферродинамический прибор 08 Фазометр	Болп и Рейтер АЕГ Бейли Валлас Тайрнов К° НИИТ
14 С реостатным регулятором 15 С вибрационным регулятором	01 Магнитоэлектрический прибор 01 То же	Эвершед Виньол К° Эстерляйн Ангус К°
14 С реостатным регулятором 15 С вибрационным регулятором 10 С индукционным регулятором 17 С управляющей катушкой 18 С фотоэлектрическим регулятором 14 С реостатным регулятором	01 Магнитоэлектрический прибор 01 То же 01 То же 01 То же 01 То же 01 То же	Вестингауз, Гартман-Браун Вестингауз, АЕГ Эверет-Эдкунб ОЛИЗ, Вестингауз ВЭИ, НИИТ, Джeneral Электрик К°, Кембридж

а) По способу передачи	б) По влиянию параметров линий связи	в) По способу компенсации	г) По роду передаваемых импульсов	д) По роду передаваемого тока	е) По способу получения вспомогательной величины	ж) По принципу действия компенсационных устройств
1. По методу интенсивности	2. Компенсированные	1. На рабочем токе		2. Переменного тока	2. С вспомогательным источником тока	4. С уравниванием на конце
		2. Нулевые		1. Постоянного тока 2. Переменного тока промышленной частоты	2. С вспомогательным источником тока 2. С вспомогательным источником тока	4. С уравниванием на конце 4. С уравниванием на конце
2. Импульсные	3. Независящие		1. Числовыми импульсные	3. Постоянно-переменного тока	2. С вспомогательным источником тока	
			2. Временными импульсные	3. Постоянно-переменного тока	2. С вспомогательным источником тока	
			3. Частотными импульсные	3. Постоянно-переменного тока	2. С вспомогательным источником тока	
3. Частотные	3. Независящие			2. Переменного тока	2. С вспомогательным источником тока	

Продолжение (Приложение 1)

а) По принципу действия и конструкции передатчиков	и) По принципу действия и конструкции приемников	Фирмы, производящие устройство
19 Индукционный мостик	04 Электромагнитный лагометр	ВОТИ, ВТИ, Броун, Бристоль, Мюррей и Джонсон
01 Термоумформерные	08 Автоматический потенциометр	Лидс и Нортруп
12 Ферродинамический прибор 20 Самосинхронизирующийся моторчик	07 Ферродинамический прибор 10 Самосинхронизирующийся моторчик	ОЛИЗ, Трюб-Тейбер ОЛИЗ, Джeneralь Электрик К°, Бейли, Пионер, АЕГ
21 С одинаковой ценой импульсов 22 С неодинаковой ценой импульсов	11 С шаговыми механизмами 12 С сложением проводимостей	Стандарт, Телефуикен, Строуджер Сименс
23 С механическим измерителем угла 24 С фотоэлектрическим измерителем угла	08 С вспомогательным моторчиком 13 С образованием среднего тока включением сопротивления	Бристоль, Фоксборо, Бундлерс Айрон Фаундари, АЕГ, ДТВ НИИТ
25 С механическим прерывателем	14 Механический измеритель 15 Тахометрический 16 Компенсационный 17 С образованием среднего тока при помощи трансформатора 18 С образованием среднего тока при помощи конденсатора	Броун-Бовери ЦЛЭМ ЦЛЭМ, АЕГ Дженераль Электрик К° Вестингауз, Сименс
26 С фотоэлектрическим прерывателем	18 С образованием среднего тока при помощи конденсатора	ОЛИЗ
27 С генератором частоты 28 С образованием биений	18 С образованием среднего тока при помощи конденсатора 19 Частотометр	НИИТ, Питсбург Эквитейбл Митер

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редакции	стр. 3
От автора	5

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Управление энергетическими системами

Глава I. Характеристика энергетических систем

1. Общие сведения	7
2. Характеристика работы энергосистем	10
3. Диспетчерское управление энергосистемами	15

Глава II. Применение устройств телемеханики в энергосистемах

4. Телемеханизация диспетчерского управления в энергосистемах	19
5. Распределение активной нагрузки между станциями	22
6. Регулирование частоты	29
7. Распределение реактивной нагрузки между станциями и распределение активной и реактивной мощности в сети	30
8. Регулирование напряжения	34
9. Осуществление переключений и ликвидация аварий	37

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Телеизмерение

Глава III. Общая характеристика устройств телеизмерения

10. Определение термина телеизмерения, классификация и краткая история развития телеизмерений	42
11. Основные требования, предъявляемые к устройствам телеизмерения . .	47

Глава IV. Некомпенсированные устройства телеизмерения, работающие по методам интенсивности

12. Умформерные устройства телеизмерения	55
13. Методы сопротивления и потенциометра	68

Глава V. Компенсационные методы телеизмерения

14. Устройства с реостатными регуляторами	76
15. Компенсационные устройства телеизмерения с непосредственным регулированием	81
16. Компенсационные устройства телеизмерения вибрационного типа . . .	90
17. Нулевые методы телеизмерения	94

Глава VI. Импульсные методы телеизмерения

18. Время-импульсные устройства телеизмерения	101
19. Число-импульсные устройства телеизмерения	111
20. Импульсно-частотные устройства телеизмерения	115
21. Частотные устройства телеизмерения	140

Глава VII. Суммирование

22. Общая характеристика суммирующих устройств и предъявляемые к ним требования	143
23. Непосредственное суммирование	145
24. Суммирование напряжений	149
25. Суммирование токов	156
26. Суммирование импульсов	161

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Телеуправление и телесигнализация

Глава VIII. Общая характеристика устройств телеуправления

27. Определение термина телеуправления и краткая история развития аппаратуры телеуправления	170
28. Основные функции, выполняемые устройствами телеуправления	171
29. Основные требования, предъявляемые к устройствам телеуправления	174
30. Принципы действия устройств телеуправления и их классификация	178
31. Способы защиты от неправильной передачи сигналов	185
32. Аппаратура и обозначения	190

Глава IX. Многоканальные устройства телеуправления

33. Устройства телеуправления распределительного типа (кабельные устройства)	196
34. Устройства телеуправления комбинационного типа	203

Глава X. Малоканальные устройства телеуправления

35. Число проводов и способы передачи в устройствах телеуправления распределительного типа	209
36. Устройства телеуправления с моторными переключателями	211
37. Устройства телеуправления с шаговыми переключателями	217
38. Устройства телеуправления с релейными переключателями	231
39. Устройства телеуправления кодового типа	241
40. Вспомогательные схемы	266

Глава XI. Схемы послышки и исполнения

41. Основные требования	276
42. Схемы включения сигнальных реле	279
43. Воспроизведение сигналов	283
44. Командование и управление	292
45. Передача распорядительных и известительных сигналов	297
46. Автоматическая известительная сигнализация	299
47. Конструктивное выполнение и размеры устройств телеуправления	303

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

Автоматическое регулирование частоты и мощности
в энергосистемах

Глава XII. Автоматическое регулирование частоты и мощности в энергосистемах

48. Основные проблемы	307
49. Регулирование при помощи скоростных регуляторов	308
50. Регулирование частоты	317

51. Автоматические регуляторы частоты	320
52. Регулирование частоты на ведущей станции	327
53. Одновременное регулирование частоты и нагрузки соединительных линий	335
54. Регулирование по сетевым характеристикам	345
55. Интегральное регулирование	348

Глава XIII. Телерегулирование

56. Особенности телерегулирования	354
57. Конструктивное выполнение телерегуляторов	360
58. Универсальный регулятор фирмы АЕГ	367
59. Универсальный регулятор фирмы Сименс	378

ЧАСТЬ ПЯТАЯ

Проектирование диспетчерского управления

Глава XIV. Оборудование диспетчерских пунктов

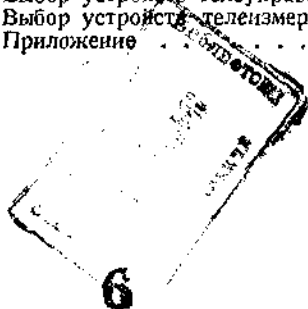
60. Общая характеристика оборудования диспетчерских пунктов	385
61. Мнемоническая схема диспетчерского щита	387
62. Индикаторы сигнализации	394
63. Схемы зависимости	404
64. Маркировка и окраска мнемонических схем	408
65. Конструктивное выполнение диспетчерских щитов	411
66. Диспетчерский пульт	420
67. Размещение оборудования и общая компоновка диспетчерского пункта	425

Глава XV. Использование линий связи

68. Основные вопросы использования линий связи	434
69. Использование линий связи для одиночной передачи	438
70. Методы комбинации проводов	442
71. Методы двойной передачи	445
72. Многократная передача	446
73. Передача высокой частотой по линиям высокого напряжения	453
74. Псевдо-многократная передача	456

Глава XVI. Выбор устройств телемеханики

75. Выбор устройств телеуправления	459
76. Выбор устройств телеизмерения	467
Приложение	486



Страна	№ по порядку	Фирма	№ по порядку	Тип устройства	Номер по классификации								Род тока передачи	Сила тока в линии, А	Максимальное сопротивление линии, Ом			
					а	б	в	г	д	е	ж	з					и	
СССР	1	Отраслевая лаборатория электроизмерительных приборов завода «Электроприбор» (ОЛИЗ) Ленинград	1	Выпрямительный с электрическим выпрямителем	1	1				1	2		04	01	Постоянный	1	900	Изменение сопротивления и утечки
			2	Индукционный выпрямительный	1	1				1	2		05	01	"	1	900	То же
			3	Компенсационный с управляющей катушкой	1	2	1			1	2	2	17	01	"			Изменение утечки
			4	Индукционно-равновесный (типа Трюб-Тейбер)	1	2	2			2	2	4	12	07	Переменный промышленной частоты	0	950	"
			5	Индукционно-равновесный (типа Сельсин)	1	2	2			2	2	4	20	10	То же	0		"
			6	Фото-импульсный	3	3				2	2		26	18	Переменный от 4 до 44 герц		15 000*	Не зависит
	2	Всесоюзный электротехнический институт (ВЭИ) Москва	1	Выпрямительный с твердым выпрямителем	1	1				1	1		03	01	Постоянный	3—4	2 000	Изменение сопротивления и утечки
			2	Выпрямительный с электрическим выпрямителем	1	1				1	2		04	01	"			То же
			3	Фото-компенсационный	1	2	1			1	2	2	18	01	"	5	5 000	Изменение утечки
	3	Всесоюзный научно-исследовательский институт телемеханики и связи (ВГИТМС) Ленинград, Москва	1	Выпрямительный с твердым выпрямителем	1	1				1	1		03	01	Постоянный		5 500	Изменение сопротивления и утечки
			2	Реостатный	1	1				1	2		07	01	Постоянный или переменный			То же
			3	Фазовый	1	1				2	2		13	08	Переменный промышленной частоты			То же
			4	Фото-компенсационный	1	2	1			1	2	2	18	01	Постоянный	5—7	10 000	Изменение утечки
			5	Время-импульсный	2	3				2	3	2	24	13	Постоянный или переменный 15 импульсов в секунду	5—15	15 000	Не зависит
			6	Частотный	3	3				2	2		27	18	Переменный		25 000	Не зависит
4	Центральная лаборатория и экспериментальные мастерские Мосэнерго (ЦЛЭМ) Москва	1	Генераторный	1	1				1	1		02	01	Постоянный	2	0,2	Изменение сопротивления и утечки	
		2	Импульсно-релеметрический	2	3				3	3	2	25	15	Постоянный или переменный 15 имп/сек	5—40*	15 000*	Не зависит	
		3	Импульсно-компенсационный	2	3				3	3	2	23	16	Постоянный или переменный 10 импульсов в секунду	5—40*	15 000*	Не зависит	
5	Завод Тизприбор всесоюзного объединения точной индустрии	1	Реостатный	1	1				1	2		07	08	Постоянный	3		Изменение утечки	
		2	Индукционный мостик	1	2	1			2	2	4	19	04	Переменный промышленной частоты	3	300	100	
США	1	General Electric Co Schenectady N. Y.	1	Выпрямительный с электрическим выпрямителем	1	1				1	2		04	01	Постоянный	2	25	1 250
			2	Фото-компенсационный	1	2	1			1	2	2	18	01	"	2	7,5	2 000
			3	Индукционно-равновесный (типа Сельсин)	1	2	2			2	2	4	20	10	Переменный промышленной частоты	5*	0	200
			4	Частотно-импульсный	2	3				3	3	2	23	17	Постоянный или переменный 15 импульсов в секунду	2	30	15 000
	2	Westinghouse Electric & Manufacturing Co East Pittsburgh, Pa	1	Выпрямительный с электрическим выпрямителем	1	1				1	2		04	01	Постоянный	2	100	1 250
			2	Компенсационный с реостатным регулятором	1	2	1			1	2	2	14	01	"	2	20	2 500
			3	Компенсационный с реостатным регулятором	1	2	1			1	2	2	14	01	Постоянный (пульсированный)	2	5	10 000
			4	Компенсационный с управляющей катушкой	1	2	1			1	2	2	14	01	"	2		
			5	Частотно-импульсный	2	3				3	3	2	23	17	"	2		
	3	Bailey Meter Co	1	Потенциометрический	1	1				1	2		04	01	Постоянный	2		
			2	Индукционно-равновесный (типа Сельсин)	1	2	2			2	2	4	20	10	Переменный промышленной частоты	5*		
			3	Выпрямительный	1	1				1	2		04	01	Постоянный	2		
	4	Lincoln	1	Трансформерный	1	1				1	2		04	01	Постоянный	2		
	5	Leads & Northrup Co Philadelphia	1	Компенсационный с реостатным регулятором	1	2	1			1	2	2	14	01	Постоянный (пульсированный)	2		
	6	Brown Instrument Co Philadelphia	1	Компенсационный с реостатным регулятором	1	2	1			1	2	2	14	01	Постоянный (пульсированный)	2		
	7	Asterline—August Co	1	Компенсационный с реостатным регулятором	1	2	1			1	2	2	14	01	Постоянный (пульсированный)	2		

Список устройств телеизмерения по фирмам

Род тока передачи	Число проводов	Сила тока в линии, А	Максимальное сопротивление линии, Ом	Влияние изменений параметров линии на точность передач	Погрешность, %	Время установившегося тока, сек.	Род источников питания		Число источников питания		Особые требования к источникам питания	Возможность работы	
							на передающей стороне	на приемной стороне	на передающей стороне	на приемной стороне		на передающей стороне	на приемной стороне
Постоянный	2	1	900	Изменение сопротивления и утечки	± 3	5-6	Переменный ток	Нет	1	—	—	—	—
"	2	1	900	То же	± 3	5-6	Переменный ток	"	1	—	Стабилизатор напряжения	Возможно	Возможно
"	2			Изменение утечки			"	"	1	—	—	"	"
Переменный промышленной частоты	4*	0	350	"	± 2		"	"	1	—	—	"	"
То же	5*	0		"			Переменный ток	"	1	—	—	Невозможно	Невозможно
Переменный от 4 до 44 герц.	2		15 000*	Не зависит	$\pm 2-3$		Постоянный или переменный	Постоянный или переменный и постоянный	3 или 1	5 или 1+1	—	"	Возможно
Постоянный	2	3-4	2 000	Изменение сопротивления и утечки	$\pm 1-1\frac{1}{2}$	5-6	Нет	Нет	—	—	—	—	—
"	2			То же			Переменный ток	"	1	—	—	—	—
"	2	5	5 000	Изменение утечки	$\pm 1-1\frac{1}{2}$	—5	"	"	1	—	—	Возможно	Возможно
Постоянный	2		5 500	Изменение сопротивления и утечки	$\pm 2+0,74 \Delta t$	5-6	Нет	Нет	—	—	—	Возможно	Возможно
Постоянный или переменный	2			То же			Постоянный или переменный	"	1	—	—	Невозможно	Невозможно
Переменный промышленной частоты	4*			То же			Переменный	"	1	—	—	"	"
Постоянный	2	5-7	10 000	Изменение утечки	± 2	4-5	"	"	1	—	—	Возможно	Возможно
Постоянный или переменный 15 импульсов в секунду	2	5-15	15 000	Не зависит	$\pm 2-3$		Постоянный	Постоянный	1	—	На приемном конце стабилизатор напряжения	Невозможно	"
Переменный	2		25 000	Не зависит		4-5	Переменный	Переменный	1	—	—	"	"
Постоянный	2	0,2	500	Изменение сопротивления и утечки	± 2	10-15	Нет	Нет	—	—	—	Возможно	Возможно
Постоянный или переменный 15 имп/сек	2	5-40*	15 000*	Не зависит	$\pm 1-1\frac{1}{2}$	12-15	Постоянный или переменный	Постоянный	1	—	—	Невозможно	"
Постоянный или переменный 10 импульсов в секунду	2	5-40*	15 000*	Не зависит			То же	"	1	—	—	"	"
Постоянный	3			Изменение утечки			Нет	Постоянный	—	—	—	Невозможно	Невозможно
Переменный промышленной частоты	3	300	100	"	± 2	2-3	Переменный ток	Нет	1	—	—	"	"
Постоянный	2	25	1 250	Изменения сопротивления и утечки	± 2	5-6	Переменный ток	Нет	1	—	—	—	—
"	2	7,5	2 000	Изменение утечки	± 2	4-5	"	"	1	—	—	Возможно	Возможно
Переменный промышленной частоты	5*	0	200	"	± 1		Переменный	"	1	—	—	Невозможно	Невозможно
Постоянный или переменный 15 импульсов в секунду	2	30	15 000	Не зависит	± 2	15-30	Постоянный или переменный	Постоянный	1	1	Стабилизатор напряжения	"	Возможно
Постоянный	2	100	1 250	Изменение сопротивления и утечки	± 5	5-6	Переменный	Нет	1	—	—	—	—
"	2	20	2 500	Изменение утечки	$\pm 2,5-3$	10	Постоянный	"	1	—	—	Возможно	Возможно
Постоянный (пульсирующий)	2	5	10 000	"	± 2	5-6	Переменный	"	1	—	—	"	"
Постоянный	2			"	$\pm 1-1\frac{1}{2}$	5-6	"	"	1	—	—	"	"
Постоянный или переменный 3,33 импульсов в секунду	2	50	15 000	Не зависит		15-30	Постоянный или переменный	Постоянный	1	1	—	Невозможно	"
Постоянный	2		700	Изменение сопротивления и утечки			Постоянный	Постоянный	1	1	—	Возможно	Невозможно
Переменный промышленной частоты	2	0	200	Изменение утечки	± 1		Переменный	Нет	1	—	—	Невозможно	"
То же	2			Изменение сопротивления и утечки			Нет	Переменный	—	1	—	"	"
Постоянный	2		250	Изменение сопротивления и утечки		30-35	Нет	Переменный	—	—	—	Возможно	Возможно
Постоянный	2		2 000	Изменение утечки	0,58-0,66	40	Нет	Постоянный	—	—	—	Возможно	Возможно
Переменный промышленной частоты	2		100	То же	± 2	3-5	Переменный ток	Нет	1	—	—	Невозможно	Невозможно
Постоянный (пульсирующий)	2	50	5 000*	То же	$\pm 1,5-2$	2-3	То же	Нет	1	—	—	Возможно	Возможно

Страна	№ по порядку	Наименование	№ по порядку	Тип устройства	Номер по классификации								Род тока передачи	Число проводов	Сила тока в линии мА	Максимальное сопротивление линии Ом	Влияние изменений параметров линии на точность передач	Погрешность %	Время установки сек.
					а	б	в	г	д	е	ж	з	и						
Австрия	8	Thomson Co	1	С индукционным мостиком	1	2	1		2	2	4	19	04	Переменный промышленной частоты	3			Изменение утечки	
			2	Время-импульсный	2	3		2	3	2		23	08	Постоянный или переменный	2	40		Не зависит	
	9	Thomson Co	1	Время-импульсный	2	3		2	3	2		23	08	То же	2			То же	
	10	Buildings Foundry	1	Время-импульсный	2	3		2	3	2		23	08	То же	2			То же	80—95
	11	Pittsburgh Foundry	1	Частотный	3	3			2	2		27	18	Переменный от 60 до 120 Hz	2			То же	±2
	12	Wallace Vernon Prds Co	1	Индукционный	1	1			2	2		12	07	Переменный промышленной частоты	3			Изменение сопротивления и утечки	
	13	Pioneer Instr. Co	1	Индукционно-уравновешенный (типа Сельсиг)	1	2	2		2	2	4	20	10	То же	5 ³			Изменение утечки	
Германия	14	Reubens Flow Meters Co	1	Реостатный	1	1			1	2		07	02	Постоянный				Изменение сопротивления и утечки	
	15	Strowger Chicago	1	Число-импульсный	2	3		1	3	2		21	11	Постоянный или переменный	2	5—40 ⁵	15 000 ⁵	Не зависит	±1
	1	Siemens Halske-Schuckert Berlin-Siemensstadt	1	Реостатный	1	1			1	2		07	03	Постоянный	3			Изменение утечки	
			2	Потенциометрический	1	1			1	2		06	01	"	2	0,06	10 000—15 000	Изменение сопротивления и утечки	±1—2
			3	Индукционный (типа Сельсиг)	1	2	2		2	2	4	20	10	Переменный промышленной частоты	2			Изменение утечки	
			4	Число-импульсный	2	3		1	3	2		22	12	Постоянный или переменный	2	5—40 ⁵	15 000 ⁵	Не зависит	±2
			5	Частотно-импульсный	2	3		3	3	2		25	16	Постоянный или переменный 12 импульсов в секунду	2	5—40 ⁵	15 000 ⁵	" "	±1—1 1/2
	2	Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft	1	С делителем тока	1	1			2	2		10	05	Переменный промышленной частоты	3			Изменение утечки	
			2	Индукционно-выпрямительный	1	1			1	2		05	01	Постоянный	2			Изменение сопротивления и утечки	
			3	Компенсационный (вибрационного типа)	1	2	1		1	2	2	15	01	Постоянный (пульсирующий)	2	6,5	600	Изменение утечки	3—4
			4	Индукционно-уравновешенный (типа Сельсиг)	1	2	2		2	2	4	20	10	Переменный промышленной частоты	5 ³			" "	
			5	Время-импульсный	2	3		2	3	2		23	08	Постоянный или переменный	2	5—40 ⁵	15 000 ⁵	Не зависит	±1—1 1/2
			6	Частотно-импульсный	2	3		3	3	2		25	16	Постоянный или переменный 2,5 импульсов в секунду	2	5—40 ⁵	15 000 ⁵	" "	
	3	Hartman-Braun	1	С делителем тока	1	1			1	2		10	02	Постоянный	3	30—40	15 150	Изменение утечки	±3
			2	Компенсационный с реостатным регулятором	1	2	1		1	2	2	14	01	"	9	10		" "	4—5
	4	Deutsche Telef. und Telegr. Werke	1	Время-импульсный	2	3		2	3	2		23	08	Постоянный или переменный	2	5—40 ⁵	15 000 ⁵	Не зависит	±1—1 1/2
	5	Aronwerke	1	Генераторный	1	1			1	1		02	01	Постоянный	2	1		Изменение сопротивления и утечки	±2
	6	Bopp & Reuther Mannheim	1	Реостатный	1	1			2	2		10	04	Переменный промышленной частоты	3	10		Изменение утечки	
			2	Реостатно-генераторный	1	1			1	2		08	01	Постоянный	2		1 500	Изменение сопротивления и утечки	
Англия	1	Cambridge Scientific Instr. Co	1	Тормоуформерный	1	1			1			01	01	То же	2	0,03	150—200	То же	±3—2,5
			2	Фотокомпенсационный	1	2	1		2	2		18	01	"	2		5 000	Изменение утечки	±2
	2	Elliot	1	Индукционно-выпрямительный	1	1			2			05	01	"	2		500	Изменение сопротивления и утечки	4—6
	3	Evershed & Vigtholts Ltd	1	Компенсационный с следящим устройством	1	2	1		2	1		14	01	"	2	10		Изменение утечки	
	4	Everett—Edcumb	1	Компенсационный с моментными весами	1	2	1		2	2		16	01	"	2			" "	
	5	Standard Telefon and Cables Ltd	1	Число-импульсный	2	3			2			21	11	Постоянный или переменный	2	5—40 ⁵	15 000 ⁵	Не зависит	±1
	6	Metropolitan-Vickers	1	Число-импульсный	2	3			2			21	11	То же	2	5—40 ⁵	15 000 ⁵	" "	±1
Швейцария	7	Murrey & Jons		С индукционным мостиком	1	2	1		2	4		19	04	Переменный промышленной частоты	3			Изменение утечки	
	1	Trüb-Täuber Co	1	Индукционно-уравновешенный	1	2	2		2	4		12	07	То же	4 ²	0	300	То же	
	2	Brown-Bovery	1	Частотно-импульсный	2	3			2			25	14	Постоянный и переменный	2	5—40 ⁵	15 000 ⁵	Не зависит	±1

1 Величина сопротивления дана для одного провода.
2 При наличии в пунктах передачи и приема синхронно работающих и стандартных источников напряжения число проводов может быть сокращено до двух.
3 При наличии в пунктах передачи и приема синхронно работающих и стандартных источников напряжения число проводов может быть сокращено до трех.
4 Источник тока может быть установлен как на передающем, так и на приемном аппарате.
5 В зависимости от сопротивления линии и рода приемных реле (величина сопротивления указана ориентировочно).
6 Из числа телеизмерительных устройств, изготавливаемых в СССР, в промышленности и на предприятиях политехнического масштаба

по твердому каталогу находятся только устройства, экспериментальными и выпустили образцы.
7 Данные устройств телеизмерения взяты из советских разработок из проспекта журн. "Электричество" № 17 за 1936 г., журналов "Известия электропромышленности СССР" № 17 за 1936 г. и "Известия техники и промышленности" № 2 и 3 за 1937 г.

Классификация	Род тока передачи	Число проводов	Сила тока в линии, А	Максимальное сопротивление линии, Ом	Влияние изменений параметров линии на точность передач	Погрешность, %	Время установки, сек.	Род источников питания		Число источников питания		Особые требования к источникам питания	Возможность суммирования	
								на передающей стороне	на приемной стороне	на передающей стороне	на приемной стороне		на передающей стороне	на приемной стороне
4 19 04	Переменный промышленной частоты	3			Изменение утечки			Переменный ток ⁴	Нет	1	—	—	Невозможно	Невозможно
2 28 08	Постоянный или переменный	2	40		Не зависит			Переменный или постоянный и переменный	Переменный	1 или 2	1	—	•	•
2 28 08	То же	2			То же			Переменный или постоянный и переменный	Переменный	1 или 2	1	—	Невозможно	Невозможно
2 28 08	То же	2			То же		80—95	То же	Переменный	1 или 2	1	—	•	•
2 27 18	Переменный от 60 до 120 Hz	2			То же	±2		Переменный	•	1	1	—	•	Возможно
2 12 07	Переменный промышленной частоты	3			Изменение сопротивления и утечки			Переменный ⁴	Нет	1	—	Стабилизация напряжения	Возможно	Невозможно
4 20 10	То же	5 ³			Изменение утечки			Переменный ⁴	•	1	—	—	Невозможно	•
2 07 02	Постоянный				Изменение сопротивления и утечки			Нет	Постоянный	—	1	—	•	•
2 21 11	Постоянный или переменный	2	5—40 ³	15 000 ³	Не зависит	±1		Постоянный или постоянный и переменный	Постоянный	1 или 2	1	—	•	•
2 07 03	Постоянный	3			Изменение утечки			Нет	Постоянный	—	1	—	Возможно	Возможно
2 06 01	•	2	0,06	10 000—15 000	Изменение сопротивления и утечки	±1—2	10—15	Постоянный	Нет	1	—	Стабилизация тока	•	•
4 20 10	Переменный промышленной частоты	2			Изменение утечки			Переменный ⁴	•	1	—	—	Невозможно	Невозможно
2 22 12	Постоянный или переменный	2	5—40 ³	15 000 ³	Не зависит	±2	40—50	Постоянный или переменный	•	1	1	На приемном конце стабилизация напряжения	•	Возможно
2 25 16	Постоянный или переменный 12 импульсов в секунду	2	5—40 ³	15 000 ³	•	±1—1 1/2		То же	•	1	1	То же	•	•
2 10 05	Переменный промышленной частоты	3			Изменение утечки			Переменный ⁴	Нет	1	—	—	Невозможно	Невозможно
2 05 01	Постоянный	2			Изменение сопротивления и утечки			Переменный	•	1	—	Стабилизация напряжения на передающем конце	Возможно	Возможно
2 15 01	Постоянный (пульсирующий)	2	6,5	800	Изменение утечки		3—4	Постоянный ⁴	•	1	—	—	•	•
4 20 10	Переменный промышленной частоты	5 ³			•			Переменный ⁴	•	1	—	—	Невозможно	Невозможно
2 23 08	Постоянный или переменный	2	5—40 ³	15 000 ³	Не зависит	±1—1 1/2	10	Постоянный или переменный	Постоянный или переменный	1	1	Постоянный со стабилизацией напряжения Переменный с одинаковой частотой	Возможно	•
2 25 16	Постоянный или переменный 2,5 импульсов в секунду	2	5—40 ³	15 000 ³	•			То же	Постоянный	1	1	—	Невозможно	Возможно
2 10 02	Постоянный	3	80—40 ³	15 150	Изменение	±2	4—5	Постоянный ⁴	Нет	1	—	—	•	Невозможно
2 14 01	•	9	10		•			•	•	1	—	—	Возможно	Возможно
2 23 08	Постоянный или переменный	2	5—40 ³	15 000 ³	Не зависит	±1 1/2	2,5	Постоянный или переменный	Постоянный или переменный	1	1	—	Невозможно	Невозможно
2 02 01	Постоянный	2	1		Изменение сопротивления и утечки		10—15	Нет	Нет	—	—	—	Возможно	Возможно
2 10 04	Переменный промышленной частоты	3	10		Изменение			Переменный ⁴	Нет	1	—	—	Невозможно	Возможно
2 08 01	Постоянный	2		1 500	Изменение сопротивления и утечки			Переменный	•	1	—	—	Возможно	•
2 01 01	То же	2	0,08	150—200	То же		10—15	Нет ⁴	Нет	—	—	—	Возможно	Возможно
2 18 01	•	2		5 000	Изменение		4—5	Переменный	•	1	—	—	•	•
2 05 01	•	2		500	Изменение сопротивления и утечки			Переменный	•	1	—	—	•	•
2 14 01	•	2	10		Изменение			Постоянный или переменный	•	1	—	—	•	•
2 16 01	•	2			•			Постоянный	•	1	—	—	•	•
2 21 11	Постоянный или переменный	2	5—40 ³	15 000 ³	Не зависит	±1		Постоянный или переменный	Постоянный	1 или 2	1	—	Невозможно	Невозможно
2 21 11	То же	2	5—40 ³	15 000 ³	•	±1		То же	•	1 или 2	1	—	•	•
4 19 04	Переменный промышленной частоты	3			Изменение утечки			Переменный ⁴	Нет	1	—	—	•	•
4 12 07	То же	4 ³	0	300	То же			Переменный ⁴	Нет	1	—	—	Возможно	Возможно
2 25 14	Постоянный и переменный	2	5—40 ³	15 000 ³	Не зависит	±1		Постоянный или переменный	Постоянный	1	1	—	Невозможно	Невозможно

по твердому каталогу находятся только устройства типа ЭПЗ (при заказе — «Электроприбор»). Прочие производства являются, главным образом, экспериментальными и выпускали единичные экземпляры.

⁴ Данные устройства телеизмерения взяты:

а) для советских разработок из проспекта «Телеизмерения» и журнальных статей: инж. Гаркуша журн. «Электричество» № 17 за 1936 г., журн. «Известия электротехники слабого тока» № 2 и 3 за 1936 г., инж. Арутюнов «Известия электротехники слабого тока» № 4 за 1936 г.

б) для американских систем (кроме устройств типа ЭПЗ) из статьи инж. Цуккермана в журнале «Американская техника и промышленность» № 2 и 3 за 1935 г. и проспектов и журнальных статей, и

в) для прочих зарубежных систем из фирменных каталогов, проспектов и журнальных статей.

источников напряжения число проводов

источников напряжения число проводов

а. сопротивления указаны ориентировочно.

производстве полужаводского масштаба

Развернутая классификация устройств телеуправления

а) По числу каналов связи	б) По применяемым методам селекции	в) По применяемым качествам передаваемого тока	г) По роду тока, передаваемого по линии связи	д) По конструкции переключающих устройств	е) По типу применяемых реле	ж) По применяемым методам защиты	Фирмы, разрабатывающие или изготовляющие устройство
1. Многоканальные	1. Распределительные	1. Различной амплитуды и направления	1. Постоянный		1. Специального типа		Сименс, АЕГ
		2. Различного направления	1. Постоянный		2. Поляризованные		Дженераль Электрик К ^о , Вестингауз
	2. Комбинационные	3. Различного направления	1. Постоянный		3. Телефонные	1. С посылкой обратных импульсов	Вестингауз
2. Малоканальные	1. Распределительные	1. Различного направления	1. Постоянный	1. Моторные	1. Специального типа	2. Старт-стопная синхронизация	Сименс
					2. Поляризованные	2. Старт-стопная синхронизация	Дженераль Электрик К ^о , Стандарт
				2. Шаговые	2. Поляризованные	3. Синхронизация по способу четных и нечетных контактов	Дженераль Электрик К ^о
					3. Телефонные	3. Синхронизация по способу четных и нечетных контактов	„Красная Заря“, ¹⁾ тип Мосэверго, АЕГ
				3. Релейные	3. Телефонные	3. Синхронизация по способу четных и нечетных контактов	Вестингауз
					4. Кодовые	4. По сумме импульсов	ВГИТИС
			2. Переменный	1. Моторные	1. Специального типа	5. Последовательное переключение	Броун-Бовери
			3. Постоянный или переменный	2. Шаговые	3. Телефонные	1. С посылкой обратных импульсов	Сименс
		3. Различной длительности	3. Постоянный или переменный				
	2. Комбинационные	2. Различного направления	1. Постоянный	2. Шаговые	3. Телефонные	2. По сумме импульсов	Метро-Виккерс
		3. Различной длительности импульса или паузы	1. Постоянный	1. Моторные	3. Телефонные	4. По сумме импульсов	Стандарт
				2. Шаговые	3. Телефонные	1. С посылкой обратных импульсов	Дженераль Электрик К ^о
				3. Релейные	3. Телефонные	1. С посылкой обратных импульсов	Вестингауз
			3. Постоянный или переменный	2. Шаговые	3. Телефонные	4. По сумме импульсов	АЕГ, Броун-Бовери
			2. Переменный	2. Шаговые	3. Телефонные	1. С посылкой обратных импульсов	Дженераль Электрик К ^о , Вестингауз
		4. Различного направления и длительности	1. Постоянный		3. Телефонные	1. С посылкой обратных импульсов	Вестингауз
					5. Селекторные	4. По сумме импульсов	Стандарт, Дженераль Электрик К ^о
					3. Телефонные	1. С посылкой обратных импульсов	Вестингауз
		5. Различного направления и частоты	4. Постоянный и переменный		3. Телефонные	1. С посылкой обратных импульсов	Вестингауз
		6. Без использования качества тока	3. Постоянный или переменный	1. Моторные	1. Специального типа	6. С двойными импульсами	Сименс
	Смешанные	4. Различного направления и длительности	1. Постоянный	2. Шаговые	3. Телефонные	4. По сумме импульсов	АЕГ

¹ См. примечание 4 к приложению 4.

Список некоторых устройств телеуправления по фирмам

Страна	№ п/п	Фирма	Устройства	Номер по классификации							Число проводов	Максим. сопротивление линии ¹⁾	Род тока передачи	Быстрота работы в сек.	Количество объектов	Год выпуска (ориентировочно)	Ориентировочная стоимость
				а	б	в	г	д	е	ж							
СССР	1	Завод им. Козинского ⁴⁾		2	3	3	1	3	4		2		Постоянный	3,5	175 на 35 различных пунктах		
	2	Завод Красная заря ³⁾		2	1	2	1	2	3	3	2	1 500	Постоянный	от 0,2 до 12	до 200		
	3	Всесоюзный научно-исследовательский институт телемеханики и связи (ВГИТИС)	.....	2	1	2	1	3	4	4	2	1 500	Постоянный	12—18	до 200	1936	
США	1	General Electric Co Schenectady N. I.	.....	1	1	2	1		2		1+2n	85	Постоянный	0,02	не ограничено	1929	790+170 n ²⁾ долл.
			.....	2	1	2	1	1	1	2	4	2 170	"	5	50	1921	
			.....	2	1	2	1	2	2	3	4	1 400	"	от 0,1 до 9,2	12, 23, 46 максимум 276	1929	2 330+230 n долл.
			.....	2	2	4	1		5	4	3		"	9	50—60 в 15 различных пунктах	1920	
			.....	2	2	3	1	2	3	1	2	1 650	"	5	23 максимум 115	1929	2 150+230 n долл.
			.....	2	2	3	2	2	3	1	2	500	Переменный	11	10	1929	
	2	Westinghouse Electric & Manufacturing Co. Pittsburg PA	.....	1	1	2	1		2		3+2n		Постоянный	0,02	не ограничено	1929	
			.....	1	2	2	1		3	1	4		"	0,4	25 максимум 1 250	1933	
			.....	2	1	2	1	3	3	3	4	500	"		20, 30, 60, 90	1921	
			.....	2	2	3	1	3	3	1	2 или 3	500	"		15	1924	
			.....	2	2	3	2	2	3	1	2		Переменный	20—25		1924	
			.....	2	2	5	4		3	1	2		Постоянный или переменный	0,4	5 максимум 125	1935	
Германия	1	Siemens-Halske-Schuckert-Pohl-Siemens	.....	1	1	1	1		1		2+n		Постоянный	0,02	не ограничено	1926	
			.....	2	1	2	1	1	1	2	2		"	20	20	1926	
			.....	2	1	3	3	2	3	2	2		Постоянный или переменный	10—12	до 125	1933	
			.....	2	2	6	3	1	1	6	2		То же	0,4	до 380	1933	
	2	Alcatel	.....	1	1	1	1		1		2+n		Постоянный	0,02	не ограничено	1935	
			.....	2	1	2	1	2	3	3	2		"	10—15	10,50	1930	
			.....	2	3	4	1	2	3	4	2		Постоянный или переменный	5	100 максимум 1 000	1932	
			.....	2	3	4	1	2	3	4	2		Постоянный			1933	
Англия			.....	2	2	1	2	3	4		2		Постоянный	3		1930	
													"				
			.....										Постоянный	5	50 максимум 100	1926	
			.....										Постоянный или переменный	3,1		1933	
Швейцария	1		.....										Постоянный	9	26	1926	
													"				
			.....										Переменный	11—30	23 максимум 67	1929	
			.....										Постоянный	1,5	360	1934	

Примечания: 1) Сопротивление линии в Ом на километр. 2) n — количество контролируемых объектов. 3) Завод в г. Ленинграде. 4) Завод в г. Ленинграде.

5) Устройства применяются для управления на железнодорожном транспорте.