

К 621,313.001.4
Ф 95

З. И. ФУР.

1953 г.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Под редакцией инж. В. К. ЖАКОВА

41125

56724
РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

№ 88, 86, 08

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

Дел

ОТДЕЛ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
МОНУМЕНТАЛЬНО-ПАМЯТНИКОВ
БССР

ОТДЕЛ ЗАКАЗОВ



ОНИ НКТН СССР

Цена 4 р. 75 к., переплет 1 р. 50 к.

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
ЛЕНИНГРАД 1937 МОСКВА

Книга написана на основании опыта автора и содержит описание проверенных на практике и могущих быть рекомендованными методов и схем испытаний электрических машин.

Рассматриваются приборы, применяемые при испытаниях, подготовка машин к испытаниям, предварительные испытания и окончательные испытания машин постоянного тока, машин асинхронных и синхронных, с указанием программ и всех элементов испытаний.

Книга предназначена для квалифицированных электромонтеров и может быть использована в качестве пособия для курсов техникума и для курсов мастеров слесарей в электротехнической промышленности. Кроме того, книга представляет интерес для всех техников, имеющих дело с испытанием электрических машин.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА.

В большинстве руководств по испытаниям электрических машин, руководств, предназначенных в основном для студентов высших учебных заведений и инженеров, сравнительно мало отражены вопросы техники производства испытаний в узком смысле этого слова. Недостаточное внимание уделено также промышленным испытаниям, главной задачей которых является не проверка теоретических положений или исследование отдельных свойств, а установление пригодности машины для заданных условий работы.

Между тем потребность в книге, посвященной именно промышленным испытаниям и технике их проведения, бесспорно, очень велика, поскольку подобная книга могла бы способствовать росту новых кадров квалифицированных электромонтеров и техников, а также облегчить работу молодых инженеров на испытательных станциях заводов.

Предлагаемая книга З. И. Фура является, пожалуй, первой попыткой в этой области. Автор, бывший электромонтер испытательной станции одного из крупнейших заводов нашего Союза, поставил себе задачу возможно полнее отразить опыт завода и свой личный опыт по испытаниям электрических машин.

Последнее сказалось в известной мере на содержании книги — в ней рассматриваются лишь те типы машин, производство которых составляет специальность упомянутого завода. В частности, в содержание книги не вошло описание испытаний машин постоянного тока с последовательным возбуждением, однокорных преобразователей, однофазных и коллекторных машин. Однако это не снижает ценности книги, так как описанные в ней типы машин относятся к наиболее распространенным в промышленности; относительно малое количество рассмотренных типов позволило сделать изложение более подробным и исчерпывающим.

Книга З. И. Фура может быть смело рекомендована широким кругам квалифицированных рабочих и начинающим инженерам, занятым в области испытаний электрических машин.

В. К. Жаков.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА.

Эта книга написана на основе моего опыта работы в качестве монтера в общезаводском бюро исследований и в отделе испытаний завода „Электросила“ им. С. М. Кирова. Все методы и схемы проверены на опыте и могут быть рекомендованы. Все цифровые и табличные данные также взяты из практики или норм-листов завода.

Книга предназначена для монтеров от 4-го до 8-го разрядов включительно и как пособие для школ ФЗУ. В тексте имеется довольно большое количество формул, но все они очень просты: уравнения с одним неизвестным, решение которых сводится к замене букв цифрами. Товарищи, слабые в решении этих уравнений, могут пропустить их при первом чтении, но для более или менее самостоятельной и сознательной работы необходимо научиться ими пользоваться.

Большая часть нормальных испытаний нормирована ОСТом и „Электрическими правилами и нормами“ (сокращенно ЭПН). Наиболее необходимые выдержки из ОСТа приведены в тексте книги, но читателю не следует ограничиваться этим, а необходимо детально познакомиться с ЭПН, касающимися электрических машин.

Материал по испытаниям (V, VI, VII главы) расположен в том порядке, в котором производится работа.

Монтер, работающий на испытаниях, несет большую ответственность потому, что часто одно неверное соединение или движение во время работы может повести к большой аварии, с порчей дорогой машины, и к несчастным случаям с людьми. Поэтому настоятельно рекомендую:

- 1) Безукоризненно знать схемы и методы измерений и испытаний.
- 2) Выработать в себе методичность в работе, делать все в определенном порядке, не пропуская и не пренебрегая мелочами.
- 3) Во время испытания производить проверку. Например: зная примерно, какие должны быть потери холостого хода испытуемого генератора, проверять их по мощности, потребляемой вспомогательным двигателем.
- 4) Знать технику безопасности и первой помощи и во всяком случае знать расположение ближайших пожарных сигналов и огнетушителей.

Приношу благодарность доценту В. К. Жакову за очень большую помощь в работе по написанию книги, а также инж. Г. К. Жерве за ряд чрезвычайно ценных указаний.

З. Фур.

Глава I.

ВВЕДЕНИЕ.

§ 1. ПАСПОРТ МАШИНЫ.

Каждая электрическая машина имеет паспорт в виде щитка, на котором обозначены основные сведения, необходимые для ее эксплуатации. Посмотрим такой паспорт (рис. 1). На нем читаем:

Ленинградский Электромеханический Завод „Электросила“ — завод, изготовивший машину.

Двигатель 3-фазного тока — назначение машины и род тока, которым она работает.

Заводский № 233806 — дает возможность отличить машину среди однотипных.

Тип И2—20/4 — условное заводское обозначение типа.

Соединение Δ/Λ — обозначает, что обмотка статора может сопрягаться в треугольник и в звезду.

Статор 220/380 В, 5,4/3,1 А — обозначает, что при сопряжении обмотки в треугольник она должна включаться на напряжение 220 В, а при сопряжении в звезду — на напряжение 380 В. При этом машина, работающая с номинальной нагрузкой, берет 5,4 А при включении на треугольник, и 3,1 А при включении на звезду.

1,3 kW — нормальная полезная мощность двигателя на его валу.

$\cos \varphi = 0,81$ — коэффициент мощности, т. е. коэффициент (множитель), с помощью которого определяется мощность машин переменного тока по силе тока и напряжению.

50 периодов ¹⁾ — частота переменного тока, которым двигатель должен работать.

1440 об/мин — число оборотов двигателя в минуту при нормальной нагрузке и частоте 50 периодов в секунду (или 50 герц).

Все указанные на паспорте величины называются номинальными данными машины.

Номинальные величины определяются стандартом ОСТ 3887, раздел Ж; приводим основные определения:

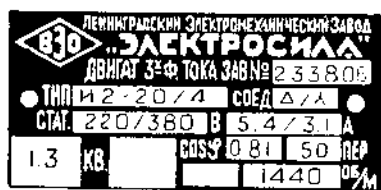


Рис. 1. Щиток асинхронного двигателя.

¹⁾ Сокращенно, вместо пер/сек (периодов в секунду) или герц (Гц, Hz).

Ж. Определение номинальных величин.

§ 1. Номинальный режим машины есть режим, соответствующий условиям работы и данным, указанным на щитке машины, причем при этом режиме машина в отношении нагрева, коэффициента полезного действия, коэффициента мощности, коммутации, электрической прочности и пр. должна удовлетворять установленным требованиям.

§ 2. Номинальным напряжением машины называется напряжение, указанное на щитке машины. Это напряжение должна иметь машина на своих зажимах при условии, что остальные величины, характеризующие режим машины, имеют также номинальное значение.

Примечание. Данные относительно напряжения машины относятся к эффективным значениям. Если нет особых указаний, то напряжение всегда означает для трехфазных машин — сопряженное (линейное) или междуфазное напряжение, а для двухфазных машин — напряжение между проводами одной и той же фазы.

§ 3. Номинальное напряжение ротора асинхронного двигателя есть напряжение, указанное на щитке, полученное между кольцами разомкнутой роторной обмотки при неподвижном роторе и питании статорной обмотки, при рабочем ее соединении, током номинальных частоты и напряжения.

§ 6. Номинальным током машины называется ток, указанный на щитке машины. Этот ток машина отдает в сеть или поглощает из сети при своем номинальном режиме.

§ 7. Номинальная активная мощность электрической машины есть количество энергии, отдаваемое с зажимов машины или потребляемое машиной из сети в одну секунду при номинальном режиме. Она выражается в ваттах (W) или киловаттах (kW).

§ 8. Номинальная кажущаяся мощность электрической машины определяется на основании ее номинальных значений напряжения и тока и выражается в вольтамперах (VA) или киловольтамперах (kVA).

§ 9. Номинальная мощность генераторов постоянного тока равна их активной мощности; мощность эта указывается на щитке.

§ 10. Номинальная мощность синхронных и асинхронных генераторов, синхронных и асинхронных компенсаторов равна их номинальной кажущейся мощности; мощность эта указывается на щитке.

§ 11. Номинальной мощностью электродвигателей называется мощность, развиваемая на их валу при номинальном режиме; эта мощность выражается в ваттах (W) или киловаттах (kW) и указывается на щитке.

§ 13. Номинальным коэффициентом мощности ($\cos \varphi$) называется отношение номинального значения активной мощности к номинальному значению кажущейся мощности.

§ 14. Номинальный коэффициент полезного действия равен отношению отдаваемой номинальной мощности к сумме отдаваемой мощности и потерь при номинальном режиме (для генераторов), или отношению разности между подводимой мощностью и потерями при номинальном режиме к подводимой мощности (для двигателей).

§ 15. Номинальной скоростью вращения машины называется скорость вращения, обозначенная на щитке и соответствующая номинальному режиму машины.

§ 16. Номинальное число оборотов есть число оборотов в минуту, указанное на щитке и соответствующее номинальному режиму электрической машины.

§ 17. Номинальная частота есть частота, указанная на щитке, и соответствующая номинальному режиму.

§ 18. Рабочее соединение обмоток есть соединение обмоток, при котором электрическая машина работает при номинальных условиях.

Основной задачей нормального испытания электрической машины является определение или проверка данных паспорта и проверка отсутствия электрических и механических дефектов. Помимо того, опреде-

ляется ряд величин, не указываемых обычно в паспорте, но также характеризующих свойства машины. Сюда относятся: пусковой момент, пусковой ток и скоростная характеристика для двигателей, внешние характеристики (зависимость между напряжением и нагрузкой) для генераторов, коэффициент полезного действия и тепловой режим для всех машин. На рассмотрении этих свойств электрической машины, знание которых необходимо для сознательной работы при испытании электрической машины, мы и остановимся.

§ 2. КОЭФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ.

Коэффициент мощности, или, как его иначе называют, косинус ϕ ($\cos \phi$), всегда указывается на паспорте машины. Что же это такое и чем он важен?

Вспомним предварительно, что при определении мощности цепи постоянного тока достаточно измерить ток и напряжение этой цепи. Мощность, выражаемая в ваттах, всегда будет равна произведению напряжения в вольтах на ток в амперах, или в виде формулы:

$$P = UI, \quad (1)$$

где: P — мощность в ваттах,

U — напряжение в вольтах,

I — ток в амперах.

Можно ли воспользоваться этой формулой для цепи переменного тока? Оказывается, что в большинстве случаев эта формула неприменима. Переменный ток изменяется непрерывно не только по величине, но и по направлению. Начинаясь от нуля, он возрастает до максимума, уменьшается до нуля, затем снова возрастает до максимума, но идя уже в обратном направлении, и опять убывает до нуля. Этим заканчивается один период и сейчас же начинается точно такой же второй. Таких периодов в наших сетях 50 в течение одной секунды; иначе говоря, частота — 50 периодов в секунду или 50 герц. Напряжение сети изменяется так же, как ток. Стрелки вольтметров и амперметров не следуют всем этим изменениям, а отмечают некоторое значение, которое называется „действующим значением“¹⁾.

Если бы напряжение и ток при своих изменениях достигали одновременно наибольших значений и одновременно уменьшались до нуля, то приведенная выше формула была бы справедлива для действующих значений. Другими словами, можно было бы определять мощность, умножая действующее значение напряжения на действующее значение тока (показание вольтметра на показание амперметра). Но эти изменения происходят не всегда одновременно. Когда напряжение достигло максимума, ток еще только увеличивается. Существуют и такие моменты, как ни странно они покажутся, когда напряжение исчезло на момент времени, а ток еще существует. Про такое несовпадение говорят: ток отстает от напряжения, между током и напряжением существует сдвиг фаз. Отставание может быть большим или меньшим. Для каждой величины отставания существует вполне определенное значение $\cos \phi$ ²⁾.

¹⁾ См. стр. 215.

²⁾ Объяснение термина $\cos \phi$ не дается, ввиду сложности вопроса.

Главной причиной этого несовпадения является магнитное поле, создаваемое током.

На создание магнитного поля требуется определенная энергия; при нарастании тока эта энергия потребляется из сети, с тем, чтобы при уменьшении тока возвратиться обратно в сеть. За счет магнитной энергии и протекает ток в те моменты, когда напряжение сети равно нулю.

Что же при этом происходит с машиной? Двигатель, потребляя энергию сети, часть ее превращает в отдаваемую механическую энергию и потери в машине, а другую часть в магнитную энергию, идущую на создание магнитного поля, без которого машина работать не может. Но магнитная энергия не исчезает, а как уже было сказано, возвращается обратно в сеть. В течение одной четверти периода энергия сети запасается в виде энергии магнитного поля, а в течение следующей четверти периода энергия магнитного поля возвращается в сеть. Поэтому, в конечном итоге, машина забирает из сети только энергию, идущую на образование отдаваемой механической энергии и потерь в машине. Если перемножить вольты на амперы, измеренные в цепи переменного тока, то произведение окажется больше, чем число ватт, измеренное там же ваттметром. Иначе говоря, при переменном токе мощность, измеренная ваттметром, может быть меньше мощности, подсчитанной по току и напряжению, в то время как для постоянного тока они всегда равны (ватты = вольты $\times$ амперы).

Поэтому для переменного тока произведение вольт на амперы называется „кажущейся мощностью“, а действительно расходуемая мощность, измеряемая ваттметром, называется „активной мощностью“. Кажущаяся мощность измеряется вольт-амперами¹⁾ по показаниям вольтметра и амперметра и обозначается: VA или *va*. Отношение активной мощности к кажущейся и называется коэффициентом мощности ($\cos \varphi$).

Для однофазного тока: кажущаяся мощность = UI вольтампер (VA или *va*). (2)

Для трехфазного тока: кажущаяся мощность = $\sqrt{3} \cdot UI = 1,73 UI$ вольтампер (VA). (3)

Например: асинхронный двигатель трехфазного тока при напряжении 220 вольт берет 5 ампер. Его кажущаяся мощность:

$$1,73 \times 220 \times 5 = 1903 \text{ VA} = 1,9 \text{ kVA}.$$

Действительная же (активная) мощность, как уже говорилось, измеряется ваттами по ваттметру и обозначается буквой L_a .

Для однофазного тока:

$$P_a = U \cdot I \cos \varphi \text{ W (ватт)}. \quad (4)$$

Для трехфазного тока:

$$P_a = 1,73 UI \cos \varphi \text{ W (ватт)}. \quad (5)$$

¹⁾ Или единицами в тысячу раз большими — киловольт-амперами (kVA или *kva*).

Например: двигатель трехфазного тока 220 В, 5,4 А имеет $\cos \varphi = 0,81$.
Потребляемая этим двигателем мощность:

$$P_a = 220 \times 5,4 \times 0,81 \times 1,73 = 1654 \text{ В} \approx 1,6 \text{ кВт}.$$

Согласно определению $\cos \varphi$ подсчитывается с помощью формулы:

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{UI} \text{ для однофазного тока,} \quad (6)$$

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{1,73 UI} \text{ для трехфазного тока.} \quad (7)$$

Зная мощность, напряжение и $\cos \varphi$, можно определять ток в цепи.
Из формул (4) и (5) получаем:
для однофазного тока:

$$I = \frac{P_a}{U \times \cos \varphi} \text{ (ампер)}$$

и для трехфазного тока:

$$I = \frac{P_a}{1,73 \times U \times \cos \varphi} \text{ (ампер).}$$

Например: асинхронный трехфазный двигатель 220 В при $\cos \varphi$, равном 0,79, потребляет 2 кВт (2000 В):

$$I = \frac{2000}{1,73 \times 220 \times 0,79} = 6,65 \text{ А}.$$

Если бы $\cos \varphi$ был равен единице, то для создания той же мощности 2 кВт достаточно было бы 5,25 А, так как в последнем случае:

$$I = \frac{2000}{1,73 \times 220 \times 1} = 5,25 \text{ А}.$$

Каково же практическое значение коэффициента мощности? Как видим из приведенного примера, для получения определенной мощности мы принуждены иметь в цепи ток больший, чем это необходимо в случае, когда $\cos \varphi = 1$. Это ведет к тому, что провода сети имеют сечение больше того, которое мы могли бы иметь; обмотка генератора переменного тока имеет сечение большее, чем можно было бы иметь, а это обозначает, что генератор мог бы давать мощность большую, если бы $\cos \varphi$ был равен единице. И, наконец, повышенный ток создает повышенные потери энергии. Очевидно, что установка тем дешевле, ее энергия тем дешевле, чем ближе $\cos \varphi$ к единице (больше единицы он не может быть).

Следует иметь в виду, что $\cos \varphi$ величина не постоянная, и меняется с изменением режима машины; на паспорте же машины указывается $\cos \varphi$ при номинальном токе, напряжении и нагрузке.

У асинхронных двигателей и синхронных генераторов $\cos \varphi$ произвольно менять нельзя; у первых он меняется с изменением величины нагрузки, а у вторых с изменением характера нагрузки (индуктивного, емкостного, омического сопротивления).

У синхронных двигателей $\cos \varphi$ можно менять произвольно регулировкой возбуждения.

§ 3. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (К. П. Д.) И ПОТЕРИ.

Электрическая машина, как и всякая другая, потребляет энергию большую той, которую она отдает. Происходит это потому, что часть потребляемой энергии, будет ли она электрическая или механическая, различными способами превращается в тепло, уходящее в окружающую среду, и отдаваемая энергия оказывается меньше потребляемой. Потери энергии неизбежны, но могут отличаться величиной и их необходимо иметь возможно меньшими, так как потребитель платит именно за ту энергию, которую машина потребляет.

Выгодность машины характеризуется ее коэффициентом полезного действия (сокращенно к. п. д.), обозначаемым буквой η ¹⁾. Он представляет отношение отдаваемой мощности к потребляемой:

$$\eta = \frac{\text{отдаваемая мощность}}{\text{потребляемая мощность}} \quad (8)$$

У двигателей потребляемая (электрическая) мощность измеряется на зажимах машины, а отдаваемая (механическая) — на валу. У генераторов же наоборот, потребляемая (механическая) — на валу, а отдаваемая (электрическая) — на зажимах. Например асинхронный двигатель потребляет из сети 17,2 kW, а отдает в виде механической мощности 15 kW. Согласно определению, его к. п. д.:

$$\eta = \frac{15}{17,2} = 0,872, \text{ или же } 87,2\%.$$

Выше 100% ни одна машина отдать не может, а практически, благодаря потерям, не может отдать и 100%. Иначе говоря, к. п. д. не может быть больше 100% (единицы), а практически всегда меньше. Не нужно думать, что к. п. д. есть величина постоянная, он зависит от нагрузки (отдаваемой мощности). Обычно он имеет наибольшую величину при номинальной нагрузке. При ее увеличении или уменьшении к. п. д. падает. Например, тот же двигатель, 15 kW, имея при полной нагрузке к. п. д. 87,2%, при половинной нагрузке (7,5 kW) имеет к. п. д. 86%. К. п. д. электрических машин очень высок и доходит до 98% у очень крупных машин.

Если производить измерение потребляемой и отдаваемой мощности электрической машины, то к. п. д. будет определен не особенно точно, потому что обе эти мощности не на много отличаются друг от друга и ошибка при измерении одной или обеих сильно сказывается на общем результате. Есть другие способы.

1. Измерение потребляемой мощности и потерь.

В этом случае отдаваемая мощность определяется из равенства:

$$\text{отдаваемая мощность} = \text{потребляемая мощность} - \text{потери} \quad (9)$$

и следовательно:

$$\eta = \frac{\text{потребляемая мощность} - \text{потери}}{\text{потребляемая мощность}} \quad (10)$$

¹⁾ Произносится „эта“.

Например: для двигателя мощностью в 21 kW измерена потребляемая мощность 24,2 kW, измеренные потери составляют 2,9 kW:

$$\eta = \frac{24,2 - 2,9}{24,2} = \frac{21,3}{24,2} = 0,88.$$

Способ этот удобен для двигателей, так как потребляемая мощность легко может быть измерена электрическим путем, а отдаваемая механическая мощность, которую измерить сложнее, не измеряется, а подсчитывается. Потери также сравнительно легко могут быть измерены.

2. Измерение отдаваемой мощности и потерь.

В этом случае потребляемая мощность определяется из равенства:

$$\text{потребляемая мощность} = \text{отдаваемая мощность} + \text{потери} \quad (11)$$

и следовательно,

$$\eta = \frac{\text{отдаваемая мощность}}{\text{отдаваемая мощность} + \text{потери}}. \quad (12)$$

Например: турбогенератор 55000 kVA отдает мощность 43 000 kW, потери определены в 1000 kW:

$$\eta = \frac{43000}{43000 + 1000} = 0,98 \text{ или } 98\%.$$

Этот способ более удобен для генераторов по тем же причинам что первый для двигателей; не нужно измерять механическую мощность, все измерения делают электрическим путем с помощью электроизмерительных приборов.

Ниже даны примеры пользования к. п. д.

а) Определить потребляемую машинной мощность, зная ее номинальную мощность и к. п. д. Из формулы (8) получаем:

$$\text{потребляемая мощность} = \frac{\text{номинальная мощность}}{\text{к. п. д.}}. \quad (13)$$

Например: генератор постоянного тока при номинальной нагрузке 85 kW имеет к. п. д. 91%. Потребляемая мощность = $\frac{85}{0,91} = 93,4 \text{ kW}$.

б) Определить отдаваемую мощность, если измерена потребляемая мощность и известен к. п. д.

$$\text{Отдаваемая мощность} = \text{потребляемая мощность} \times \text{к. п. д.} \quad (14)$$

Пример: измерена потребляемая двигателем мощность 1,64 kW. Его к. п. д. 79%; отдаваемая полезная мощность равна:

$$\text{отдаваемая мощность} = 1,64 \times 0,79 = 1,29 \text{ kW}.$$

в) Определить к. п. д. трехфазного асинхронного двигателя по его паспорту. Возьмем паспорт двигателя, помещенный в начале главы. На нем значится: 220 V, 5,4 A, $\cos \varphi = 0,81$, 1,3 kW.

Согласно формуле (5)

$$\text{потребляемая мощность} = 220 \times 5,4 \times 0,81 \times 1,73 = 1664 = 1,66 \text{ kW}.$$

Так как отдаваемая мощность равна 1,3 kW, то согласно формуле (8):

$$\eta = \frac{1,3}{1,66} = 0,78.$$

Потери. Как уже упоминалось, всякая машина, преобразуя энергию, отдает в виде полезной работы только часть потребляемой энергии. Остальная часть выделяется в виде тепла и является „потерянной“. Эту „потерянную“ энергию обычно выражают в ваттах (т. е. имея в виду потери энергии за одну секунду) и для краткости называют просто „потери“. Где же и как возникают потери? Путей для этого несколько:

I. Ток, проходя по медной обмотке и преодолевая сопротивление, нагревает ее. Это так называемые Джоулевы потери.

II. Если в переменном магнитном поле имеется железо, то в нем индуцируются токи, нагревающие его; эти токи называются токами Фуко. В массивных кусках железа они могут достигать большой силы, и их можно уменьшить, раслаивая железо на листы и изолируя их, что и делается в электрических машинах. Для этой же цели применяются специальные сорта железа с примесью кремния (легированное железо). Помимо потерь энергии, связанных с токами Фуко, в железе имеют место потери вследствие гистерезиса.

Гистерезисом называется свойство железа сопротивляться перемагничиванию; при перемагничивании железа в нем выделяется тепло. Здесь уместно сказать о том, что железо в машинах переменного тока, по которому проходит магнитный поток, называется активным, и именно его раслаивают. Корпус же делается сплошным, так как служит только для крепления и защиты всех частей машины. В машинах постоянного тока по корпусу поток проходит и не нагревает его, потому что не меняет ни величины, ни направления. Потери вследствие гистерезиса зависят от химического состава железа, и вообще тем меньше, чем мягче железо. Кроме того, они особенно малы у легированного железа.

Потери в железе считаются по количеству ватт потерь, приходящихся на каждый килограмм активного железа. В среднем считается нормальным 3,3 W/kg (ватт на 1 килограмм) для определенных стандартных условий.

III. Потери на трение — от трения в подшипниках во время работы, от трения щеток о коллектор и от трения охлаждающего воздуха о стенки канала, по которому он проходит, и трения частиц воздуха между собой.

Перечисленные потери могут быть подразделены на более мелкие группы. Помимо того, существует ряд второстепенных потерь небольшой величины, которые при испытании не определяются (так называемые добавочные потери).

Потери можно разделить на две группы по названиям опытов, в которых они определяются. Это будут потери холостого хода и потери короткого замыкания.

К потерям холостого хода относятся потери в железе и на трение. Потери в железе зависят от величины магнитного потока машины и от скорости вращения. Если то и другое остается постоянным, то и потери в железе остаются постоянными.

Потери на трение зависят только от скорости вращения. В машинах, у которых при нагрузке скорость вращения и напряжение, а следовательно и магнитный поток, остаются неизменными, потери холостого хода также считаются неизменными. К потерям короткого замыкания относятся потери в меди и добавочные потери. Те и другие изменяются пропорционально квадрату силы тока. Поэтому потери короткого замыкания изменяются с изменением нагрузки.

§ 4. НАГРЕВ.

Как уже было сказано выше, часть энергии, потребляемой машиной, превращается в потери в виде тепла, нагревающего машину. С увеличением отдаваемой мощности растут и потери и, следовательно, температура машины. Но так как машина не может выдержать с безопасностью для себя температуру выше определенной, то нагрузку приходится ограничивать тем ее значением, при котором температура машины достигает предельного значения. Эта нагрузка и является нормальной мощностью машины, обозначаемой на ее паспорте¹⁾ (номинальная мощность). При номинальной мощности машина должна иметь $\cos \varphi$ и к. п. д. не ниже норм, допускаемых ОСТ'ом.

Нормальную мощность нельзя считать неизменной. Дело в том, что температура машины зависит не только от потерь машины, но и от температуры окружающего машину воздуха. Чем выше температура окружающего воздуха, тем выше температура машины при одних и тех же потерях. Поэтому температуру машины обычно считают в виде перегрева относительно температуры окружающей среды. Например, температура машины 68° , а температура окружающего воздуха 22° . Перегрев: $68^\circ - 22^\circ = 46^\circ$. Если бы температура воздуха была 28° , то машина имела бы температуру $28 + 46 = 74^\circ \text{C}$. Номинальная мощность машины определяется для температуры окружающего воздуха 35°C . Поэтому если машина работает при температуре окружающего воздуха меньше 35° , то ее можно нагружать больше номинальной мощности, обозначенной на паспорте, если же при температуре выше 35° , то нагрузка должна быть меньше номинальной.

Каждый электромашиностроительный завод и вся страна наша в целом заинтересованы в том, чтобы строить электрические машины возможно большей мощности при заданных размерах. Предел этому также ставит нагрев машины, потому что если бы машина при той же номинальной мощности имела бы больший размер, то очевидно температура ее была бы меньше. Конструкторы электрических машин идут по пути улучшения охлаждения (вентиляции), уменьшая таким способом температуру, а значит, имея возможность поднять мощность при заданных размерах. При этом, однако, приходится машину так пересчитывать, чтобы ее эксплуатационные показатели (например $\cos \varphi$ и к. п. д.) не были ниже норм, допускаемых ОСТ'ом. Если же только поднять мощность, улучшив вентиляцию (что, например, можно сделать в условиях эксплуатации, обдувая машину вспомогательным вентилятором), то эксплуатационные показатели при этом могут ухудшиться.

¹⁾ Если, конечно, предел допускаемой нагрузки не ограничивается другими факторами, как например искрение под щетками и т. п.

Как видим, температура машины имеет решающее значение для ее мощности, поэтому во время испытания машины температура отдельных частей тщательно измеряется, в чем подробно сказано во II, V, VI и VII главах.

Наименее стойким в отношении температуры материалом машины является изоляция и, собственно говоря, предельные температуры определяются максимально допустимой температурой для ее изоляции. Изоляция делается из различных материалов, с делением их на классы. Допускаемые значения температуры для различных частей машины и применяемый для них класс изоляции приведены в приложении 1.

Срок службы изоляции зависит от температуры.

Ниже приведены ориентировочные цифры, характеризующие эту зависимость.

Температура в °C	Срок службы изоляции
128°	1 год
120°	2 года
110°	4 "
100°	10 лет
90°	23 года

§ 5. ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ.

Полюса ротора притягиваются к полюсам статора с некоторой силой. При этом вал машины развивает некоторое вращающее усилие. Оно тем больше, чем больше радиус ротора и сила притяжения между ротором и статором. Если мы умножим силу притяжения на радиус ротора, то получим так называемый момент вращения или вращающий момент машины. Например: сила притяжения всех полюсов составляет 2 кг (т. е. полюса притягиваются с такой силой, с какой гиря в 2 кг притягивается к земле), а радиус ротора составляет 0,2 м (20 см), при этом вращающий момент $= 2 \times 0,2 = 0,4$ кгм. Читается: момент $= 0,4$ кгм (килограммометра). Очевидно, что тот же ротор при силе притяжения 5 кг будет иметь момент 1 кгм, а ротор с радиусом 1,5 м при 5 кг силы притяжения будет иметь момент 7,5 кгм.

Вращающий момент можно получить, зная мощность машины и ее скорость вращения, по следующей формуле:

$$M = 0,975 \frac{P}{n}, \quad (15)$$

где: M — вращающий момент кгм,

P — мощность машины в вт,

n — число оборотов в минуту.

Например: мощность двигателя постоянного тока 15 kW (15 000 ватт), число оборотов в минуту — 1000. Его вращающий номинальный момент:

$$M = 0,975 \cdot \frac{15000}{1000} = 14,6 \text{ кгм.}$$

Вращающий момент — величина чрезвычайно важная для эксплуатации машины. Мощность двигателя подбирается к машине, которую он должен вращать, по моменту этой машины и числу ее оборотов. Если,

например, токарному станку необходим момент 12 кг/м при 200 оборотах в минуту, то мощность двигателя должна быть равной:

$$P = 12 \cdot 200 = 2400 \text{ W} = 2,4 \text{ kW}.$$

Вращающий момент двигателя не есть величина постоянная. Он определяется нагрузкой. Большая нагрузка требует от двигателя большего вращающего момента.

Так как при увеличении нагрузки скорость у большинства машин падает, то для определения момента необходимо не забывать одновременно измерять мощность и число оборотов. Момент, развиваемый двигателем при номинальной нагрузке и номинальных условиях работы (напряжение, частота), называется номинальным вращающим моментом. Момент, развиваемый при перегрузке, называется перегрузочным моментом. Согласно нормам, двигатели должны развивать перегрузочный момент не менее, чем 1,8 номинального момента. Момент, развиваемый при пуске, называется пусковым моментом. Пусковой момент желательно иметь возможно больше. Для двигателей переменного тока по нормам он должен быть не меньше 30% номинального.

§ 6. ПОНЯТИЕ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ.

Все величины, характеризующие машину (ток, напряжение и т. д.), взаимно зависимы. Изменение одной из них вызывает изменение другой (или нескольких других). Такая зависимость между двумя величинами, характеризующими электрическую машину, называется характеристикой и обычно изображается в виде таблицы или кривой. Построение кривой приводится на следующем примере.

Если вращать генератор постоянного тока с неизменной скоростью и постепенно увеличивать (выводя реостат) ток возбуждения, то будет увеличиваться напряжение на зажимах генератора. Поступают следующим образом: дают 0,1 нормального тока возбуждения, измеряют полученное при этом на зажимах машины напряжение. Записывают обе величины в приводимую ниже таблицу. Затем записывают напряжение при 0,2 тока возбуждения, 0,3 и т. д. В результате опыта получаем таблицу, подобную данной.

Ток возбуждения	Напряжение на зажимах генератора	Примечание
0 ампер	3 вольт	Напряжение от остаточного магнетизма
0,12 "	26 "	
0,24 "	52 "	
0,36 "	76 "	
0,48 "	99 "	
0,60 "	122 "	
0,72 "	142 "	
0,84 "	162 "	
0,96 "	182 "	
1,08 "	198 "	
1,20 "	214 "	Номинальное напряжение 220 вольт
1,44 "	238 "	
1,68 "	256 "	
1,92 "	270 "	

На миллиметровой бумаге (рис. 2) проводят две перпендикулярные линии — оси — вертикально и горизонтально. Горизонтальную ось делят на равные части. Каждая часть соответствует 0,1 тока возбуждения. Вертикальную ось также делят на равные части, причем эти деления соответствуют напряжению. Из точки на вертикальной оси, соответствующей 26 В, проводим линию, параллельную горизонтальной оси. Из точки, соответствующей 0,12 А, проводим линию, параллельную вертикальной оси, и в месте их пересечения ставим точку. То же самое делаем для следующих пар значений, взятых из таблицы. Полу-

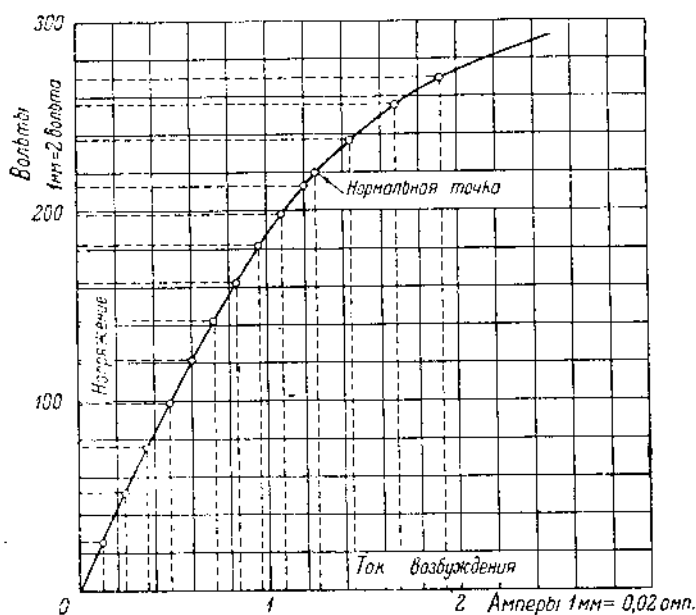


Рис. 2. Построение характеристики.

чаем 10 точек (на рис. 2 их 14); соединяем их в линию от руки или по лекалу. Если мы теперь хотим знать, какое напряжение будет при токе, например, 1,26 А, то находим на горизонтальной оси точку, которая соответствует току 1,26 А, и проводим вертикальную линию до пересечения с построенной нами кривой линией. Из точки пересечения проводим линию, параллельную горизонтальной оси, до пересечения с вертикальной осью и на ней получим напряжение, которое ищем.

Таким способом с помощью кривой можно найти по известному напряжению соответствующий ток возбуждения. Кривая, нами построенная, называется характеристикой холостого хода, или же кривой намагничивания. Если мы имеем любые две величины, например: ток и обороты в минуту, причем когда изменяем одну, то изменяется и другая, то, проделав ряд измерений и записав их, по записи можем построить характеристику (кривую). По этой характеристике можно найти те значения величин, которые мы и не измеряли,

как было показано в предыдущем примере для тока 1,26 А. Сняв необходимые характеристики машины, можно производить расчеты, не трогая больше ее, и судить о том, насколько соответствует она первоначальным расчетам, или производить новые расчеты.

В электротехнике широко пользуются указанным способом для изображения зависимости разных величин. В главах V, VI и VII дан ряд таких характеристик, и приведенный выше пример должен пояснить их составление.

Кривые должны вычерчиваться тщательно, для того чтобы пользоваться ими было легко и удобно. Практические приемы сводятся в основном к следующему:

1. Кривую желательно строить на миллиметровой бумаге стандартного размера (210×297).

2. Масштаб должно брать такой, чтобы наибольшие значения изображаемых величин уместились на бумаге. Помимо того, для удобства нанесения точек масштаб должен соответствовать 1,2 или 5. Например: $1 \text{ мм} = 5 \text{ В}$ или $1 \text{ мм} = 0,02 \text{ А}$ или $1 \text{ см} = 20 \text{ В}$ или $1 \text{ см} = 0,1$ для величины $\cos \varphi$ и т. д.

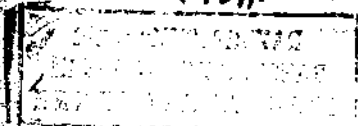
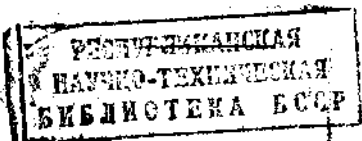
Масштабы величин желательно брать такими, чтобы горизонтальная ось была в 1,5—2 раза длиннее вертикальной.

3. Проведение кривой по нанесенным точкам производится по лекалу и требует навыка в подборе кривизны и выборе точек, по которым проводится нанесение, так как практически отдельные точки ложатся выше или ниже кривой, благодаря неточности измерений. Явно ошибочными точками следует пренебрегать.

4. Над кривой должно быть ее название или название опыта, название машины, фабричный номер и номер заказа (если он имеется), также обязательно дата испытания и подпись. Название величины (ток возбуждения, напряжение и т. д.) помещается над соответствующей осью, а наименование единиц ее измерения (амперы, вольты, ватты и т. д.) — под осью.

На одном и том же чертеже могут быть несколько разных кривых, причем каждая кривая имеет свой масштаб. Например: для одной кривой 10 мм обозначают 0,5 А, для другой 50 В, а для третьей $\cos \varphi = 0,1$. В большинстве случаев измерение производится („снимаются точки“) не через равные значения величин, как было для кривой рис. 2, а через меньшие там, где величины быстро меняются, где кривая резко изгибается, образуя „колено“. При этом колено получается более точно.

44125 Ден.



Глава II.

ПРИБОРЫ И ИЗМЕРЕНИЯ.

§ 1. ОБРАЩЕНИЕ С ПРИБОРАМИ.

При испытании электрических машин производятся измерения следующих величин: напряжения, тока, мощности, сопротивления, температуры, частоты, скорости вращения, времени, скорости воздуха. Иногда производится ряд специальных измерений.

В число обязанностей монтера входит умение пользоваться приборами, включать их и отсчитывать по ним. Поэтому здесь кратко описываются приборы и принципы их работы. Полные и подробные сведения о приборах можно получить в специальной литературе ¹⁾.

Основные правила.

1. Чрезвычайно осторожно и внимательно обращаться с приборами. Прибор нежен, боится сотрясений, поэтому брать, переносить, ставить — осторожно.

2. Клеммы не зажимать слишком сильно и не оставлять отвинченными.

3. Вытирать от пыли и пятен. Стекло не вытирать сухой тряпкой, так как при этом образуется электростатический заряд, искажающий показания; вытирать чуть влажной тряпкой или губкой.

4. Не держать без нужды приборы под током. Амперметры, трансформаторы тока, толстые обмотки ваттметров шунтировать, когда измерения не производятся.

5. Прежде чем включать прибор в схему, хорошо подумать об измеряемой величине и пределе измерения прибора, чтобы не сжечь его и не испортить.

6. Ни в коем случае не выключать из цепи амперметр или токовую катушку ваттметра, если по ним проходит ток, — расплавятся клеммы, пробьет изоляцию внутри прибора, разрыв цепи тока может привести к аварии.

7. Не держать приборы в сыром месте, это разрушает их. Также ни в коем случае не держать приборы вблизи сильных магнитов (на-

¹⁾ Перечень книг: Георг Ян, Испытания электрических машин, Вейкерт, Испытания электрических машин и трансформаторов, Кузьмин, Электроизмерительные приборы, их ремонт и регулировка. В. Сквиря, Измерения мощности переменного тока.

пример: вынутый якорь машины, по которому пропускается ток), в особенности этого бояться магнито-электрические приборы. Эти приборы имеют стальной магнит, который при этом может быть размагничен. Расстояние между электромагнитом и прибором не должно быть меньше 3 м, а при очень сильных электромагнитах — до 15 м.

8. На верхней крышке или на задней стенке прибора иногда имеется головка винта, поворачивая которую мы „арретируем“ — задерживаем подвижную систему. Не нужно только путать головку арретира (приспособления для задерживания) с головкой винта, служащего для установки стрелки на нуль. Прибор, имеющий арретир, при переноске обязательно арретировать, иначе подвижная система прибора будет ударяться об окружающие части и портиться. После установки прибора на месте — отпустить арретир, проверить положение стрелки на нуле и, в случае нужды, установить на нуль, поворачивая осторожно специальный винт, о котором говорилось выше. Для этой цели монтер во время испытания должен иметь с собой небольшую отвертку и не пользоваться ножом.

При переноске магнитоэлектрических приборов, не имеющих арретира, рекомендуется соединить их жакими проводником („закорачивать“). При этом уменьшаются колебания подвижной системы.

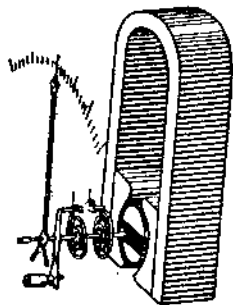


Рис. 3. Детали электроизмерительного прибора.

§ 2. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ.

Переходя к описанию принципов работы электроизмерительных приборов, следует сказать следующее: всякий прибор имеет в себе две системы: подвижную и неподвижную; с подвижной скреплена стрелка — указатель для производства отсчетов. Подвижная система под действием пружинок стремится оставаться в одном положении (стрелка на нуле), но при включении прибора возникают силы, выводящие подвижную систему из ее нулевого положения. Величина отклонения зависит от усилия, с которым поворачивается подвижная система, а последнее зависит от величины проходящего через прибор тока. Подвижная система обычно укрепляется на двух стальных центрах, опирающихся на алмазные подпятники, или подвешивается на нити. Для того, чтобы не было колебаний стрелки, имеется смягчающий их демпфер. Это обычно поршеньек, который ходит в специальном канале и сжимает при движении воздух. На рис. 3 изображены все основные детали прибора.

Причины, вызывающие движение подвижной системы, могут быть следующими (что и является принципом работы прибора):

1. Взаимодействие между постоянным магнитом и находящейся между его полюсами катушкой, по которой протекает ток. Катушка может вращаться. Такая система называется магнито-электрической. Приборы этой системы пригодны только для постоянного тока и имеют равномерную шкалу, они наиболее чувствительны и точны.

II. Взаимодействие двух катушек, расположенных одна в другой, по которым протекает ток; одна катушка при этом может вращаться. Система называется электродинамической. Приборы этого типа пригодны и для переменного и для постоянного тока, причем для

обоих случаях служит одна шкала. Шкала неравномерная, но это сильно сказывается только в начале шкалы. Иногда магнитная цепь этих приборов выполняется из железа (или специальных сплавов). В последнем случае приборы называются ферродинамическими.

III. Взаимодействие неподвижной катушки, по которой проходит ток, с листком мягкого железа, могущего вдвигаться в катушку. Железо, втягиваясь в катушку, вращает ось стрелки. Система называется электромагнитной, пригодна для приборов постоянного и переменного тока и для обоих видов тока имеет большею частью одну и ту же шкалу. Точность этой системы меньше, чем у предыдущих. Приборы этой системы предпочтительно применяются при переменном токе.

IV. Взаимодействие между неподвижной катушкой, по которой протекает ток, и индуцируемыми токами Фуко, возникающими в металлическом диске или барабане, расположенном в магнитном поле катушки. При этом диск стремится повернуться и вращает стрелку. Приборы этого типа называются индукционными и пригодны только для переменного тока. Индукционные приборы отличаются большой выносливостью и хорошей чувствительностью.

Другой тип индукционных приборов основан на взаимодействии между двумя катушками. В неподвижную катушку подается ток. Подвижная ни с чем не соединяется и замкнута на себя. Магнитное поле неподвижной катушки индуцирует электродвижущую силу в подвижной. Электродвижущая сила создает ток, который, взаимодействуя с магнитным полем неподвижной катушки, вращает подвижную. Приборы эти пригодны только для переменного тока, отличаются большой надежностью и прочностью. При испытании электрических машин индукционные приборы почти не применяются, вследствие зависимости их показаний от изменения температуры и частоты.

V. Удлинение металлической нити вследствие нагревания при прохождении по ней тока. В приборе имеется натянутая платиноиридиевая нить, середина нити соединена металлической же нитью с роликом, на оси которого находится стрелка. Ролик под влиянием пружины стремится повернуться. Через платиноиридиевую нить пропускается ток, она удлиняется вследствие нагрева, и это дает возможность ролику вместе со стрелкой повернуться на некоторый угол, зависящий от величины тока. Для того, чтобы избежать влияния температуры окружающего воздуха, имеется специальное компенсирующее устройство. Приборы этого типа называются тепловыми.

Тепловые приборы пригодны для постоянного и переменного тока любой частоты, — свойство, которого не имеют все остальные типы приборов. Шкала всегда неравномерная. При отсчетах надо выжидать, пока стрелка установится, потому что нить нагревается сравнительно медленно и, следовательно, стрелка движется тоже медленно. Недостатком является то, что приборы все же чувствительны к окружающей температуре и стрелка легко сходит с нуля, за этим нужно следить.

VI. Электростатические приборы основаны на том принципе, что два металлических листика, будучи заряжены электричеством одноименно¹⁾ — отталкиваются, а разноименно — притягиваются. Приборы эти

¹⁾ Т. е. присоединены к одному полюсу; разноименно — присоединены к разным полюсам.

пригодны и для постоянного и для переменного тока, но работают только в качестве вольтметров. Пригодны для измерения напряжений от 70 вольт и выше и большой точностью не отличаются. Шкала почти равномерная, за исключением начала.

Вибрационные приборы основаны на резонансе собственных колебаний прибора и колебаний магнитного поля измеряемого тока. Описание см. ниже — измерение частоты.

Условные обозначения, имеющиеся на шкалах приборов, приведены в приложении 2.

Большинство систем приборов пригодны, как было сказано выше, для измерения и постоянного и переменного тока, поэтому возле их клемм никаких обозначений в отношении полярности нет. Только магнитоэлектрические приборы пригодны исключительно для постоянного тока, и их полярность обозначена: возле правой клеммы, если смотреть со стороны шкалы, стоит знак $+$ (плюс).

Имеются приборы постоянного тока (магнитоэлектрические) без обозначения полярности, у них нуль расположен в середине шкалы и стрелка в зависимости от направления тока может двигаться в обе стороны шкалы. Применяются, главным образом, для зарядки аккумуляторов. При испытаниях машин такие приборы применяются для измерения скольжения асинхронных машин.

§ 3. ПОГРЕШНОСТИ ПРИБОРОВ.

По всякому прибору (кроме электростатических¹⁾) во время его работы протекает ток и нагревает его. С одной стороны это вызывает потери энергии, которые при точных испытаниях или измерениях малых мощностей должны обязательно учитываться. С другой стороны, при нагревании прибора его сопротивление изменяется, а следовательно изменяется и сила тока, по нему проходящего, и прибор дает ошибку. Изменение окружающей температуры также влияет на точность прибора, хотя специальными схемами, смонтированными внутри прибора, это влияние температуры сводится к минимуму. Помимо того, на показания прибора влияет расположение прибора относительно проводов и электроизмерительных приборов, по которым проходит ток. Провод, по которому проходит ток, имеет вокруг себя магнитное поле, и это поле, действуя на подвижную катушку, искажает показания прибора. Поэтому все провода, расположенные рядом или под прибором, должны быть от него удалены не менее чем на 40 см, также и расстояние между центрами приборов должно быть около 40 см. При сборке схем следует тщательно следить за этим. Это особенно важно для электродинамических приборов. Существуют так называемые астатические приборы, сконструированные так, что посторонние магнитные поля на них почти не влияют.

Изменение частоты также влияет на точность измерений, поэтому при измерениях в цепях переменного тока всегда рекомендуется иметь включенный частотомер и следить за тем, чтобы не было больших отклонений от заданной частоты.

В зависимости от назначения приборы выполняются так, что они

¹⁾ При включении их на постоянный ток.

могут давать большую или меньшую погрешность. Увеличение точности значительно удорожает прибор.

Погрешность считается в процентах от полного отклонения стрелки. Если, например, шкала имеет 150 делений, а стрелка при одном и том же значении измеряемой величины может показать 149,5 делений или 150,5 делений, то погрешность в процентах будет около $\pm 0,3\%$. В табл. 1 (таблицы помещены в конце книги) дано деление приборов на классы точности и соответствующие им допустимые погрешности согласно „Электротехническим правилам и нормам“.

Погрешности, указанные в табл. 1, допустимы при нормальных условиях, температуре, частоте и т. п., в зависимости от конструкции и назначения прибора (подробно см. „Электротехнические правила и нормы“). При ненормальных условиях погрешность может быть больше, и это следует учитывать при измерениях. После ремонта прибор может иметь большие ошибки, в этом случае он должен иметь поправочную таблицу. Шкала прибора может быть равномерной или же неравномерной. В последнем случае чем ближе деления к нулю, тем они меньше, и естественно, что при этом точность измерения меньше.

Стрелка прибора в начале и в конце шкалы может дать ошибку на одинаковую часть деления. Понятно, что процент ошибки будет тем больше, чем ближе стрелка к нулю. Поэтому желательно работать в конце шкалы. Пример: ошибка в $\pm 0,5$ деления на 150° составляет около $\pm 0,3\%$, а на 30° составляет около $\pm 1,7\%$. Кроме того, все приборы вообще в начале шкалы менее чувствительны, чем в середине и в конце, и могут скорее дать ошибку в этой части. Эти обстоятельства заставляют подбирать приборы так, чтобы измерение приходилось делать примерно на второй половине шкалы.

Точность отсчета чрезвычайно важна; нужно уметь правильно отличить, когда стрелка показывает 0,6 деления или 0,7 деления и т. п.; даже если стрелка не совпадает с делением на толщину деления, следует знать, сколько это будет. Ошибок накапливается много. Ошибки дают неучитываемые части схемы, провода, дают их приборы, дают люди, производящие измерения, и последние ошибки являются наибольшими. Работа на-глазок — „ладно, хорошо будет“, недопустима. Этим сознанием должен проникнуться каждый работающий с измерительными приборами при точных измерениях. Иногда небольшая ошибка в отсчете вырастает во много раз при подсчете.

Приборы III класса У (указатели) применяются только при очень грубых приблизительных измерениях. Приборы II класса — Т (технические) обычно применяются на распределительных щитах; укрепляются вертикально и все время находятся под током. Приборы I класса Л (лабораторные или прецизионные) и К (контрольные) служат для точных измерений, всегда переносные, с горизонтально расположенной шкалой, ножеподобной стрелкой и зеркальным отсчетом. Отсчет по зеркальной шкале производится следующим образом: зеркало всегда расположено ниже шкалы; закрыв один глаз (лучше левый), другим (правым) смотрят на стрелку так, чтобы она закрыла свое отражение в зеркале, и замечают в этот момент деление (или его часть), покрытое стрелкой. Если соблюдать это правило, глаз видит по строго перпендикулярной линии по отношению к шкале.

Если есть подозрение, что подвижная система прибора движется с увеличенным трением, следует во время отсчета легко постукивать пальцем (суставом, а не ногтем) по боковой стенке прибора.

§ 4. ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ.

Монтер должен уметь сам подбирать приборы для испытания, если нет специальных указаний. Для этого необходимо запомнить из глав V, VI и VII величины, измеряемые при испытаниях.

Как правило, прецизионный прибор имеет несколько пределов измерений в зависимости от подбора: добавочных сопротивлений и трансформаторов напряжения к вольтметрам, шунтов и трансформаторов тока к амперметрам, трансформаторов тока и напряжения и добавочных сопротивлений к ваттметрам. Это значит, что вольтметром 130 В можно измерять 260 В, 520 В и до десятков тысяч вольт. Поэтому каждое деление шкалы не обозначает обязательно определенное количество вольт или ампер или ватт. Количество это зависит от добавочного сопротивления, трансформаторов тока и т. д. В каждом отдельном случае „цена деления“ прибора, т. е. значение измеряемой величины, вызывающее перемещение стрелки на одно деление шкалы, зависит от наличия этих добавочных приборов, и в каждом отдельном случае, чтобы получить измерение в вольтах, амперах, ваттах, нужно умножать показания прибора на определенное постоянное число, называемое „постоянной“ или же „константой“ прибора и обычно обозначаемое латинской буквой: $C = \dots$. Если вольтметр включен последовательно через клемму добавочного сопротивления, возле которой стоит $C = 4$, следует показания прибора умножать на 4. Подробно о постоянных приборов сказано при описании каждого прибора.

Шкала прецизионного прибора обычно делится на 100° (делений), 130° или 150° .

Постоянной для измерительных трансформаторов является их коэффициент трансформации, т. е. отношение тока или напряжения первичной обмотки к соответствующему току или напряжению вторичной обмотки (к которой приключается измерительный прибор). Например: трансформатор тока 100/5 А, это значит, что в первичной обмотке протекает ток 100 А, в то время как во вторичной протекает 5 А. Коэффициент трансформации равен: $C = 100 : 5 = 20$.

§ 5. ИЗМЕРЕНИЕ НАПЯЖЕНИЯ.

У вольтметров и амперметров отклонение стрелки зависит от тока, протекающего по прибору. Разница между вольтметром и амперметром заключается в том, что ток, проходящий через амперметр, зависит от тока цепи, а у вольтметра — от напряжения цепи. Для того, чтобы это осуществить, вольтметр присоединяется к тем точкам цепи, между которыми измеряется напряжение, а амперметр — последовательно в соответствующий участок цепи. Так как прибор должен потреблять минимальное количество энергии и сам не должен влиять на напряжение и ток, вольтметр имеет очень большое сопротивление и в него ответвляется ничтожный ток. Амперметр же имеет ничтожное сопротивление и по нему проходит полный ток (или его часть).

На рис. 4 изображены принципиальные схемы включения вольтметра и амперметра.

По закону Ома ток равен напряжению, деленному на сопротивление.

В вольтметре при полном отклонении стрелки проходит определенный ток, обычно не более 150 мА. Но так как сопротивление подвижной и неподвижной систем слишком мало, то последовательно с ними включены добавочные сопротивления, помещенные внутри прибора. Из приведенного закона Ома ясно, что ток останется тем же, если мы одновременно с увеличением напряжения увеличим во столько же раз сопротивление. Если нужно измерить двойное напряжение, к вольтметру присоединяется последовательно сопротивление, равное сопротивлению вольтметра; если утроенное напряжение, то удвоенное сопротивление (утроенное, считая вместе с вольтметром) и т. д. Таким образом, при увеличении напряжения стрелка прибора не уходит за шкалу, а дает нормальное отклонение, при этом постоянная прибора увеличивается. Иногда и эти добавочные сопротивления помещаются

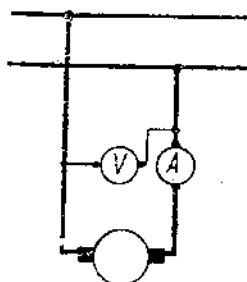


Рис. 4. Принципиальная схема включения вольтметра и амперметра.

внутри прибора, а на приборе имеется переключатель. Большей же частью сопротивления помещаются в отдельной коробке, на одной стенке которой выведены клеммы. Возле каждой клеммы указано максимальное напряжение, которое можно измерять и значение S — постоянной добавочного сопротивления, на которую следует умножить показания прибора, чтобы получить вольты. На добавочных сопротивлениях „Сименс и Гальске“ для присоединения к прибору всегда служит одна клемма (обведенная белым кружком). На боковой стенке добавочного сопротивления имеется схема включения с соответствующими величинами напряжений и сопротивлений. Кроме того, там же имеется надпись: к прибору такого-то сопротивления на такое-то количество миллиампер. Если присоединить прибор с другими данными, он будет показывать совершенно неверно и может сгореть или прибор, или добавочное сопротивление. На рис. 5 дана схема, имеющаяся на добавочном сопротивлении к прибору „Сименс и Гальске“ на 130 В.

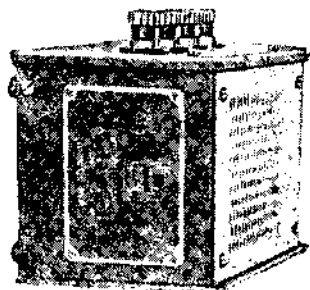


Рис. 5. Добавочное сопротивление к вольтметру „С и Г“.

Помимо того, имеются добавочные сопротивления, предназначенные для включения непосредственно к прибору, а в соединении с другими добавочными сопротивлениями.

Добавочное сопротивление возможно подобрать по формуле:

$$R_d = R_{np} \frac{U - U_{np}}{U_{np}},$$

где: R_d — добавочное сопротивление в омах,
 R_{np} — сопротивление прибора в омах,

U — измеряемое напряжение в вольтах,

$U_{\text{нр}}$ — номинальное напряжение прибора в вольтах.

Добавочное сопротивление всегда ставится клеммами к клеммам прибора и на резиновые ножки, на нем имеющиеся (для правильной его вентиляции). Переключатель, если он имеется на приборе, должно перед включением прибора ставить на наибольшее напряжение, чтобы не сжечь случайно прибор.

Добавочные сопротивления имеются к приборам и постоянного и переменного тока, за исключением электростатических вольтметров. Для увеличения предела измерений последних применяются последовательно включенные конденсаторы (переменный ток).

Может случиться, что добавочных сопротивлений нет или не хватает. В этом случае можно включить последовательно два любых вольтметра и складывать измеренные ими напряжения. Желательно все же иметь вольтметры с одинаковым потреблением тока, так как при этом отклонения приборов также будут одинаковы, и точность измерений не пострадает. В случае необходимости можно взять и более, чем два вольтметра.

Для увеличения предела измерений вольтметров переменного тока кроме добавочных сопротивлений применяются трансформаторы напряжения. Это — специально сконструированные трансформаторы небольшой мощности. Первичная обмотка присоединяется к измеряемому напряжению, а вторичная — к прибору. В случае необходимости включения нескольких вольтметров, все они приключаются параллельно ко вторичной обмотке трансформатора. Номинальное напряжение вторичной обмотки для всех трансформаторов напряжения 100 В или 110 В. Первичная же обмотка может включаться на различные напряжения до 12 000 В и выше, в зависимости от коэффициента трансформации. Изменение коэффициента трансформации достигается переключателями, помещенными на трансформаторе. На нем же обычно имеются наглядные соответствующие схемы переключений. При работе с этими переключателями, напряжение с трансформатора необходимо снять. Корпус трансформатора имеет клемму для заземления, к которой должен быть присоединен заземляющий провод. Измеренное прибором напряжение нужно умножить на коэффициент трансформации (постоянную). Пример: трансформатор установлен на 4000 В, следовательно, его коэффициент трансформации $= 4000 : 100 = 40$.

Вольтметр на 130 В, присоединенный к трансформатору, показал 70 В. Следовательно, действительное напряжение равно: $70 \times 40 = 2800 \text{ В}$.

§ 6. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА.

Как было указано выше, амперметр включается в цепь последовательно; его показание зависит от проходящего в цепи тока, и включаться он должен, естественно, в такую цепь, где ток не может быть больше того, на который амперметр рассчитан. Сопротивление прибора ничтожно, поэтому падение напряжения и потери на нагревание в нем тоже очень малы. Для увеличения предела измерения к амперметрам постоянного тока приключаются шунты (по существу дела эти амперметры являются милливольтметрами с шунтами). Если к рабочей системе прибора включить параллельно сопротивление в 9 раз меньше сопротивления прибора,

то по нему пройдет 0,9 всего тока, а по прибору 0,1. Соответствующим подбором параллельного сопротивления (шунта) можно через прибор пропустить 0,01, 0,001 и т. д. от общего тока. Это дает возможность одним прибором измерять токи различной силы и ограничить ток в самом приборе.

Шунт к прибору можно подобрать по формуле:

$$R_{ш} = \frac{i_{пр}}{I - i_{пр}} R_{пр},$$

где: $R_{ш}^{н}$ — сопротивление шунта в омах,

$R_{пр}$ — сопротивление прибора в омах,

I — измеряемый ток в амперах,

$i_{пр}$ — ток в приборе при полном отклонении стрелки, в амперах.

Обычно к каждому прибору (или нескольким однотипным) имеется набор шунтов.

Шунты до 150 А могут надеваться непосредственно на прибор, свыше же, будучи тяжелыми, устанавливаются отдельно и присоединяются

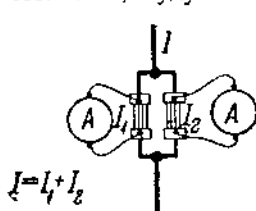


Рис. 6. Параллельное включение шунтов.

специальными калиброванными проводами. В случае отсутствия калиброванных проводов или необходимости расположить прибор далеко от шунта, следует подбирать провода, соединяющие шунт с прибором, так, чтобы их сопротивление составляло не более 0,005 сопротивления прибора. Необходимо следить за тем, чтобы контакт между шунтом и прибором был надежным. Шунты могут быть присоединены не к любому прибору, а только к предназначенному для них; обычно на шунте обозначены ток и падение напряжения в милливольтях;

прибор как раз и должен быть на эти милливольты. Если к прибору, имеющему 150 делений, присоединен шунт на 75 А, то цена деления 0,5 А, и чтобы считать в амперах, нужно показания прибора умножить на 0,5. Соответствующим образом ведется расчет и в других случаях. В некоторых приборах шунты помещаются внутри прибора, тогда на верхней доске имеются разрезанные штепсельные гнезда с штепселями¹⁾. Схемы переключений в этом случае обозначены на самих приборах. Никаких переключений на приборе не делать до тех пор, пока не шунтирован весь прибор. Для этой цели на нем имеется специальное штепсельное гнездо. Вставляя штепсель, замыкаем клеммы прибора накоротко и ток идет мимо его обмотки, после этого производится переключение. Точно так же следует шунтировать прибор во время включения схемы и когда отсчеты не производятся.

При отсутствии шунта на необходимый ток, можно включить два шунта параллельно, каждый со своим прибором, и измеренные обоими приборами токи складывать; схема дана на рис. 6.

Для пропорционального распределения тока между шунтами желательно, чтобы они были на одинаковое падение напряжения. В случае необходимости, шунтов может быть и больше, чем два.

¹⁾ Эти гнезда со штепселями иногда позволяют пересоединять между собой катушки в системе прибора.

Для измерения токов в несколько миллиампер, в цепях высокого сопротивления в качестве амперметра может служить вольтметр (если нет в распоряжении миллиамперметра). Схема измерений — обычная для измерений тока. Постоянная прибора определяется следующим образом: если вольтметр потребляет 60 миллиампер для полного отклонения стрелки (указывается на приборах I класса или может быть вычислено по сопротивлению прибора) и шкала его имеет 150 делений, то цена его деления равна: $1^{\circ} = 60 : 150 = 0,4$ миллиампера.

Шунты для переменного тока мало пригодны, так как самоиндукция прибора искажает показания. Поэтому для измерения переменных токов большой силы применяются трансформаторы тока. Трансформаторы тока применяются также в тех случаях, когда нежелательно непосредственное включение амперметра в цепь высокого напряжения. Первичная обмотка, состоящая из небольшого числа витков, включается последовательно в цепь вместо амперметра, амперметр же присоединяется ко вторичной, многовитковой обмотке. Часто первичной обмоткой служит сам кабель или шина, на которую трансформатор тока надевается.

При включении к трансформатору нескольких амперметров все они соединяются между собой последовательно. Трансформаторы тока конструируются так, что при номинальном токе в первичной обмотке во вторичной проходит 5 ампер. Говорят: трансформатор 100/5 (сто на пять), 1200/5 и т. д.

Прецизионные трансформаторы тока имеют несколько пределов измерения. Для этого имеется несколько клемм для присоединения амперметра или же специальные сменные гребенки; оба типа трансформатора показаны на рис. 7. Как правило, к трансформаторам тока приключаются амперметры на 5 А.

Вторичную обмотку ни в коем случае не следует оставлять разомкнутой во время работы; на ее клеммах появляется высокое напряжение (500—1000 В), опасное для жизни, и железо трансформатора сильно нагревается. В случае необходимости сменить амперметр, нужно предварительно замкнуть накоротко вторичную обмотку трансформатора тока.

При выборе трансформатора нужно сообразоваться с тем напряжением, на которое рассчитана первичная обмотка (по отношению к корпусу, обычно обозначается на щитке) и не включать ее в цепь более высокого напряжения. Корпус трансформатора необходимо заземлять.

При отсчете, чтобы получить его в амперах, следует число ампер, измеренное прибором, умножить на коэффициент трансформации (отношение тока первичной обмотки к току во вторичной). При гребенке 1200/5 коэффициент трансформации равен: $1200 : 5 = 240$. Удобнее всего иметь амперметр на 5 А со шкалой, разделенной на 100 делений; в этом случае постоянная равна номинальному числу ампер первичной

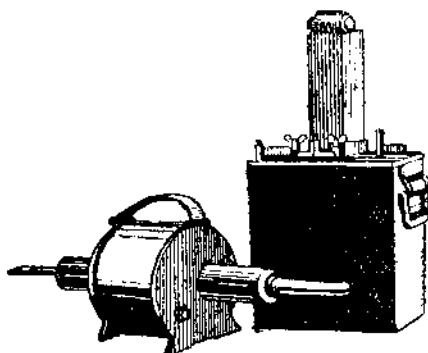


Рис. 7. Трансформаторы тока.

обмотки трансформатора, деленному на число делений шкалы, например: трансформатор 400/5, число делений шкалы амперметра 100, постоянная равна: $400:100 = 4$. При положении стрелки на 27,5 деления измеряемое число ампер равно: $27,5 \times 4 = 110$. Понятно, что прибор нельзя брать меньше 5 А, если измеряется ток, равный номинальному току трансформатора. Если взять амперметр больше, чем на 5 А, то нужно отмеченное число делений умножить на коэффициент трансформации трансформатора тока и цену деления прибора. Например: взят трансформатор тока 600/5 А, и амперметр на 10 А со шкалой в 100 делений. При измерении стрелка отклонилась на 34 деления. Цена деления: $1^\circ = 10:100 = 0,1$ А, следовательно, во вторичной цепи трансформатора прошел ток $34 \times 0,1 = 3,4$ А. По первичной же обмотке прошел ток $3,4 \times 120 = 408$ А. Здесь коэффициент трансформации равен: $600:5 = 120$.

§ 7. МИЛЛИВОЛЬТ-АМПЕРМЕТРЫ.

При точных измерениях постоянного тока широко пользуются милливольт-амперметрами. Название таково потому, что прибор в соединении с шунтом работает как амперметр, а с добавочным сопротивлением — как вольтметр. Десятиомный прибор фирмы „Сименс и Гальске“¹⁾ имеет три клеммы: одну общую слева и две справа; одна из этих двух с обозначением $10 \Omega 45 \text{ mV}$ служит для присоединения шунтов, а вторая — с обозначением $1000 \Omega 3 \text{ V}$ — для присоединения добавочных сопротивлений и для измерения напряжения до трех вольт.

Эти приборы имеют на шкале обозначение mV (милливольт-вольтметр). Милливольт-амперметры строятся по магнитоэлектрическому принципу, пригодны только для постоянного тока и отличаются высокой точностью измерений. Для измерений, требующих большой точности (например, измерений сопротивлений), пользуются исключительно такими приборами.

§ 8. ГАЛЬВАНОМЕТР.

Гальванометр — магнитоэлектрический прибор очень высокой чувствительности. Чувствительность тем больше, чем меньший ток нужен для отклонения прибора на одно деление. На приборе она обычно обозначается так: $3 \times 10^{-7} \text{ A}$ или $1 \times 10^{-6} \text{ A}$, что соответственно значит: 0,0000003 А и 0,00001 А; второй, очевидно, менее чувствителен. Понятно, что такие приборы должны включаться с большой осторожностью и чаще служат только для обнаружения электродвижущей силы, а не для ее измерения. Обычно эти приборы имеют нуль по середине шкалы.

§ 9. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Измерение мощности постоянного тока производится по показаниям амперметра и вольтметра, включенных в измеряемую цепь:

$$P = UI, \quad (16)$$

¹⁾ Внутреннее сопротивление прибора — 10 Ω . Существуют также приборы с внутренним сопротивлением 1 Ω („одноомные“) и др.

где: P — мощность в ваттах,

U — падение напряжения в вольтах,

I — ток в амперах.

Мощность постоянного тока может быть также измерена электродинамическим ваттметром (но не индукционным), однако, это делается сравнительно редко.

§ 10. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ОДНОФАЗНОГО ТОКА.

Измерение мощности однофазного тока производится ваттметром, как указано ниже. Следует помнить, что ваттметр измеряет только действительную мощность (ватты). Кажущаяся же мощность (вольт-амперы) определяется по амперметру и вольтметру. Ваттметры строятся

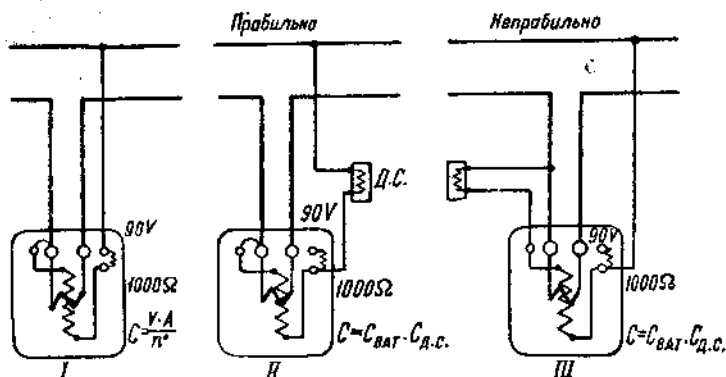


Рис. 8. Схемы непосредственного включения ваттметра.

I — без добавочного сопротивления. II — с добавочным сопротивлением правильно. III — с добавочным сопротивлением неправильно.

по электродинамическому или индукционному принципу. Усилие, с которым вращается подвижная система ваттметра, зависит от тока в цепи, от напряжения в ней и от сдвига фаз тока и напряжения. В электродинамических ваттметрах имеется неподвижная катушка из толстой проволоки, которая включается последовательно в цепь; магнитное поле, которое она создает, пропорционально току. Внутри первой расположена вторая катушка из тонкой проволоки (подвижная), которая присоединяется как вольтметр. Ток в этой катушке пропорционален напряжению.

На ваттметре имеются четыре или более клемм. Две из них — большего размера — предназначены для включения тока, а остальные для напряжения; при этом, в случае двух клемм напряжения одна присоединяется к сети непосредственно, а другая через специальное добавочное сопротивление. В случае трех и более клемм, третья и остальные служат для непосредственного присоединения к измеряемому напряжению (вторая клемма остается свободной).

В ваттметрах „С и Г“ третья клемма имеет обозначение 90 В и предназначена для присоединения к трансформатору напряжения. Так как трансформатор имеет номинальное напряжение 100 В, то тонкая обмотка

ваттметра оказывается перегруженной на 10%, что вполне допустимо. Зато ваттметр дает полное отклонение стрелки при $\cos \varphi$ меньше единицы ($\cos \varphi = 0,9$), что обычно имеет место при испытаниях машин. Если же $\cos \varphi = 1$, то для измерения номинальной мощности клеммой 90 V нельзя пользоваться, так как стрелка уйдет за шкалу. В этом случае надо пользоваться добавочным сопротивлением на 120 V.

На рис. 8 даны схемы непосредственного включения ваттметра; на первой из них ваттметр включен без каких-либо промежуточных приборов. Понятно, что сеть не должна иметь напряжение выше того, на которое рассчитана тонкая обмотка ваттметра и ток не должен быть больше того, на который рассчитана толстая обмотка¹⁾.

Подсчет измеренной мощности показан на следующем примере: дан ваттметр фирмы Гартман-Браун 150 V, 100 A, число делений шкалы 150. Стрелка дает полное отклонение, когда ток будет 100 A, а напряжение 150 V, иначе говоря, когда мощность будет равна 15 000 W или 15 kW (потому что она равна: $150 \text{ V} \times 100 \text{ A} = 15\,000 \text{ ватт}$ ²⁾). Цена деления $1^\circ = 15\,000 : 150 = 100 \text{ ватт}$. Если стрелка указывает 20 делений, то измеренная мощность равна: $100 \times 20 = 2\,000 \text{ ватт} = 2 \text{ киловатта}$.

На второй схеме рис. 8 толстая катушка включена непосредственно в сеть, а тонкая (для измерения напряжения) — через добавочное сопротивление. Постоянная для подсчета измеренной мощности в этом случае равна постоянной ваттметра, умноженной на постоянную добавочного сопротивления. Например: ваттметр на 5 A, 30 V и со шкалой на 150 делений включен через добавочное сопротивление 300 V. Постоянная ваттметра: $1^\circ = \frac{30 \times 5}{150} = 1 \text{ W}$. Постоянная добавочного сопротивления: $300 : 30 = 10$. Следовательно, постоянная ваттметра с добавочным сопротивлением: $1^\circ = 1 \text{ W} \times 10 = 10 \text{ W}$. То же самое получаем, если умножим номинальное напряжение на номинальный ток и делим на число делений (градусов) шкалы: $1^\circ = \frac{300 \times 5}{150} = 10 \text{ W}$.

Добавочные сопротивления к ваттметрам рис. 9 и рис. 10 имеют клеммы с двух сторон: с одной стороны один ряд клемм для измерений при однофазном токе, с другой стороны три ряда клемм для измерения при трехфазном токе по схеме одного ваттметра (см. § 11).

Важно обратить внимание на включение добавочного сопротивления; оно должно быть включено между клеммой напряжения ваттметра и тем проводом сети, к которому не присоединена толстая обмотка ваттметра. Если это правило не соблюдено, то между толстой и тонкой катушками возникнет разность напряжений, и изоляция катушки может быть пробита. На схеме рис. 8 показано верное и неверное включение ваттметра. Чтобы избежать этой ошибки, клеммы на ваттметре обычно расположены по две: одна — напряжения и одна — тока. Одну пару нужно соединить между собой проводничком, чем и осуществляется правильное присоединение катушки напряжения

¹⁾ Обмотки ваттметров допускают кратковременную перегрузку до 60%.

²⁾ При $\cos \varphi = 1$. При $\cos \varphi$ не равном единице ваттметр не даст полного отклонения шкалы, так как в этом случае мощность меньше произведения вольт на амперы, как об этом говорилось в главе I.

ж сети и катушке тока. В ваттметрах, у которых клеммы тока и напряжения расположены не рядом, стоит знак $+$ (плюс) у одной клеммы тока и у одной клеммы напряжения, их и нужно соединить. Если и этого значка нет, то на приборе имеется схема соединений.

Предел измерений ваттметра увеличивается, если применять обычные измерительные трансформаторы тока и напряжения. Схемы включения даны на рисунках 11 и 12. На рис. 11 толстая обмотка включена во вторичную обмотку трансформатора тока, а тонкая обмотка присоединена через добавочное сопротивление к сети. Такой способ включения называется полукосвенным. Важно правильно включить добавочное сопротивление и соединить между собой первичную и вторичную обмотку трансформатора, во избежание пробоя изоляции в приборе. Корпус при этом не присоединяется к обмоткам, так как должен быть заземлен и, если сеть заземлена, может получиться короткое замыкание.

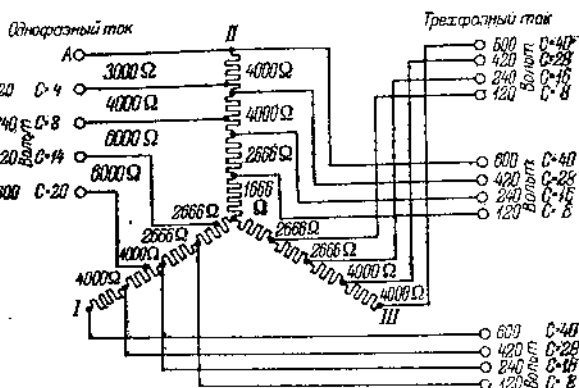


Рис. 9. Добавочное сопротивление к ваттметру с искусственной нулевой точкой.

Клемма А должна присоединяться к 1000-омной клемме ваттметра.

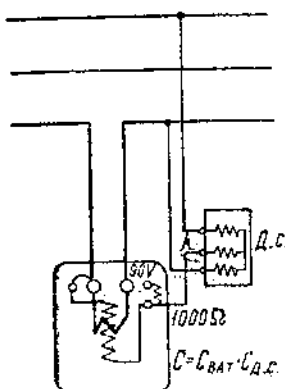


Рис. 10. Принципиальная схема включения добавочного сопротивления с искусственной нулевой точкой.

Клемма К с изолированных сопротивлений обычно выделяется специальным знаком (например, красным кружком).

Постоянная для ваттметра, при полукосвенных измерениях, равна постоянной самого ваттметра, умноженной на постоянную добавочного сопротивления и постоянную тр-ра тока. Например: имеется ваттметр 5 А, 30 В с добавочным сопротивлением на 300 В и шкалой 150 делений, и тр-р тока 200/5 А. Постоянная будет равна:

$$1^\circ = \frac{5 \times 30}{140} \times \frac{300}{30} \times \frac{200}{5} = 400 \text{ W.}$$

В самом деле прибор дает полное отклонение, когда ток ваттметра будет равен 5 А, а напряжение 300 В. 5 А в ваттметре будет тогда, когда в первичной обмотке ток будет 200 А. Иначе говоря, ваттметр дает полное отклонение, когда в сети будет 300 В и 200 А, т. е. ¹⁾ будет 60 000 W и, следовательно, цена одного деления будет: $1^\circ = 60\,000 : 150 = 400 \text{ W.}$

В том случае, если толстая обмотка ваттметра рассчитана не на 5 А, а на другой ток, то постоянная определяется также

¹⁾ При $\cos \varphi = 1$.

Если номинальный ток ваттметра больше 5 А, то прибор даст неполное отклонение при номинальном напряжении и номинальном токе тр-ра тока в цепи, а если ток ваттметра меньше 5 А, то он даст полное отклонение ранее, чем ток в сети достигнет значения номинального тока тр-ра тока¹⁾.

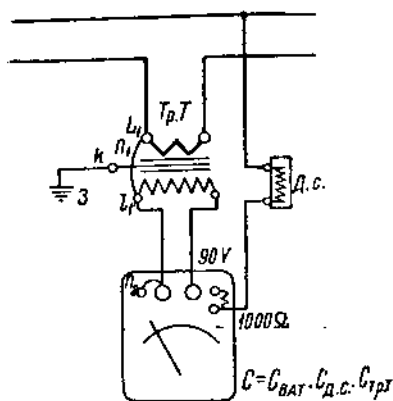


Рис. 11. Схема полукосвенного включения ваттметра.

Тр. Т — трансформатор тока. Обратитъ внимание на: 1. Проводничок H_1 соединяет первичную и вторичную обмотку трансформатора и проводничок H_2 соединяет тонкую обмотку ваттметра с сетью. 2. Клемма К — корпус трансформатора — присоединена к земле — 3.

тр-ра напряжения. Например: имеется ваттметр 30 В, 5 А, 150 делений, добавочное сопротивление на 120 В, тр-р тока 50/5 А, трансформатор напряжения 6000/100 В. Цена деления равна:

$$1^\circ = \frac{30 \times 5}{150} \times \frac{120}{30} \times \frac{50}{5} \times \frac{6000}{100} = 2400 \text{ W.}$$

Очень удобно определить постоянную для подсчета мощности, если число делений шкалы равно 150, следующим образом:

$$1^\circ = \frac{U}{30} \times \frac{I}{5},$$

где: U — номинальное напряжение, I — номинальный ток, для которых подобрана измерительная схема.

Необходимо помнить, что ваттметр даст полное отклонение при номинальных токе и напряжении только в случае, если $\cos \varphi$ цепи равен 1, так как только в этом случае произведение вольт на амперы дает действительную мощность. Если же $\cos \varphi$ меньше единицы, то при номинальном токе и напряжении ваттметр покажет меньше полного отклонения, и тем меньше, чем меньше $\cos \varphi$, так как действи-

На схеме рис. 12 показано включение ваттметра через тр-р тока и тр-р напряжения; этот способ включения называется косвенным. Первичная обмотка тр-ра напряжения включается параллельно к сети, а первичная обмотка тр-ра тока последовательно в сеть. Ваттметр включается своими обмотками в соответствующие обмотки тр-ров. Важно: соединить между собой вторичные обмотки тр-ров, соединить их с корпусом и все заземлить. Эта мера предупреждает, в случае пробоя какого-либо тр-ра, пробой прибора и опасность для жизни людей.

Постоянная ваттметра при косвенных измерениях равна постоянной самого ваттметра, умноженной на постоянную добавочного сопротивления, постоянную тр-ра тока и постоянную

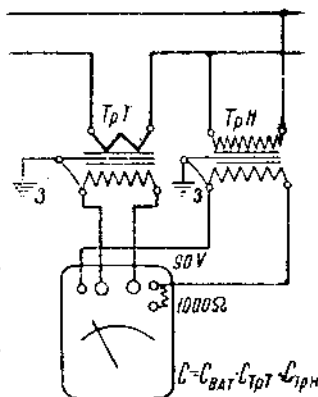


Рис. 12. Схема косвенного включения ваттметра.

Тр. Т — трансформатор тока, Тр. Н — трансформатор напряжения. Обратитъ внимание: 1. Обмотки ваттметра не соединены с сетью. 2. Корпусы и вторичные обмотки тр-ов тока и напряжения заземлены.

¹⁾ При $\cos \varphi = 1$.

тельная мощность в этом случае меньше, чем вольтамперы (см. Введение § 2). Имеются ваттметры, которые устроены так, что дают полное отклонение при номинальном токе и напряжении и каком-либо определенном малом $\cos \varphi$. Необходимость в таких ваттметрах имеется в случае измерения при очень малых значениях $\cos \varphi$, когда обычный ваттметр дает малые отклонения.

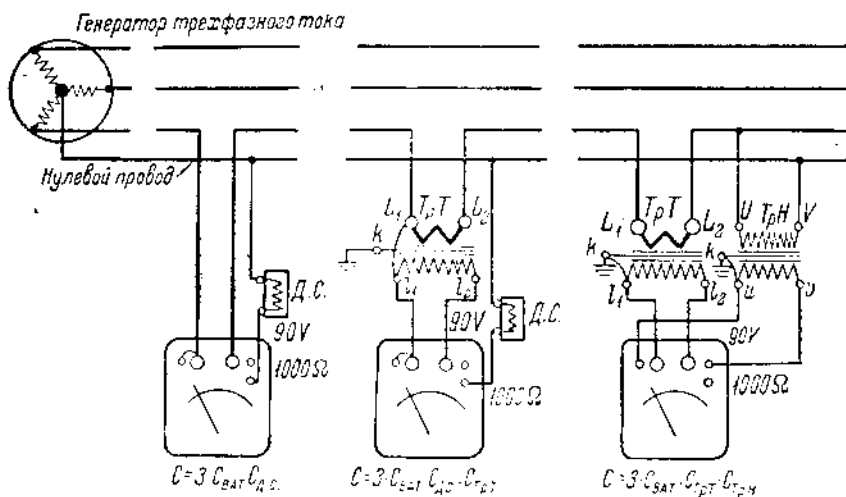
Помимо того следует сказать, что не безразлична перемена места концов какой-либо обмотки ваттметра, так как от взаимного направления тока в обмотках ваттметра зависит направление отклонения стрелки. Для того, чтобы тр-ры не могли на это повлиять, их клеммы имеют обозначения: для трансформаторов тока — первичная обмотка L_1 и L_2 , вторичная I_1 и I_2 ; у тр-ра напряжения — первичная U и V и вторичная u и v . Если ток в первичной обмотке идет от L_1 к L_2 , то во вторичной от I_1 к I_2 , то же самое в тр-рах напряжения.

При этом по прибору ток идет в том направлении, в котором он шел бы, если бы прибор был включен в сеть без тр-ра. Заземлять следует клеммы I_1 и v .

Электродинамические ваттметры очень чувствительны к посторонним магнитным полям, поэтому необходимо располагать ваттметр так, чтобы он был вне всяких полей проводов, других приборов, аппаратуры и машин.

§ 11. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА.

Измерение мощности трехфазного тока можно производить так же, как и однофазного, непосредственным включением ваттметра, полукосвенным и косвенным. Помимо того, измерение возможно производить одним, двумя и тремя ваттметрами. Все правила включения ваттметра,



Мощность равна мощности, измеренной ваттметром и умноженной на 3 ($C = 3 \cdot C_{\text{BAT}}$).

Рис. 13. Измерение мощности трехфазного тока при наличии нулевого провода одним ваттметром с нормальным добавочным сопротивлением.

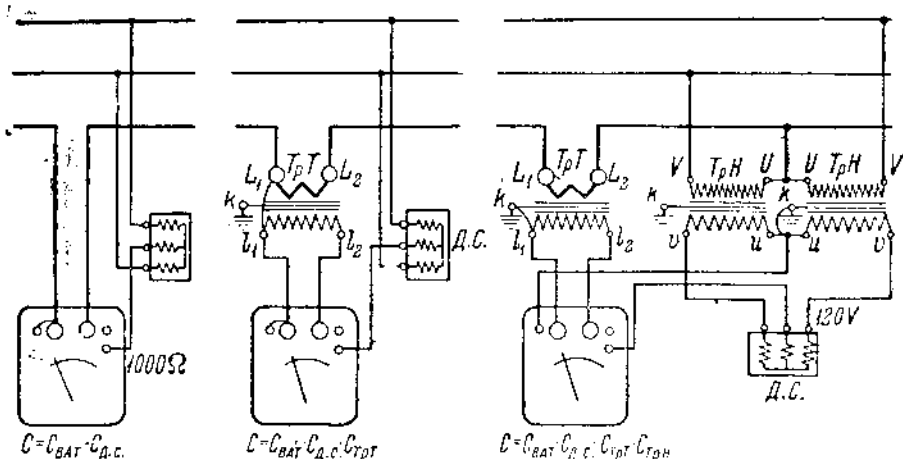
Обратить внимание: 1. Тонкая обмотка ваттметра присоединяется к нулевому проводу и фазе, в которую включен трансформатор тока. 2. При полукосвенном измерении обмотки трансформатора тока не заземляются. 3. При косвенных измерениях корпус и вторичные обмотки трансформаторов заземлены.

тр-ров тока и напряжения и добавочных сопротивлений относятся и к измерению мощности трехфазного тока.

При измерении одним ваттметром необходима так называемая нулевая точка. Если сеть имеет нулевой провод, то включение производится по схемам рис. 13. При таком включении ваттметр измеряет мощность одной фазы и, чтобы получить полную мощность, надо измеренную ваттметром умножить на 3.

Постоянная подсчитывается так же, как для однофазного тока.

Если нулевого провода нет и нулевая точка недоступна, то можно измерение производить, создав искусственную нулевую точку. Для этой цели существуют специальные добавочные сопротивления, показанные на рис. 9 и 10.



Мощность равна мощности, измеренной ваттметром.

Рис. 14. Схемы измерения мощности трехфазного тока методом искусственной нулевой точки (симметричная схема).

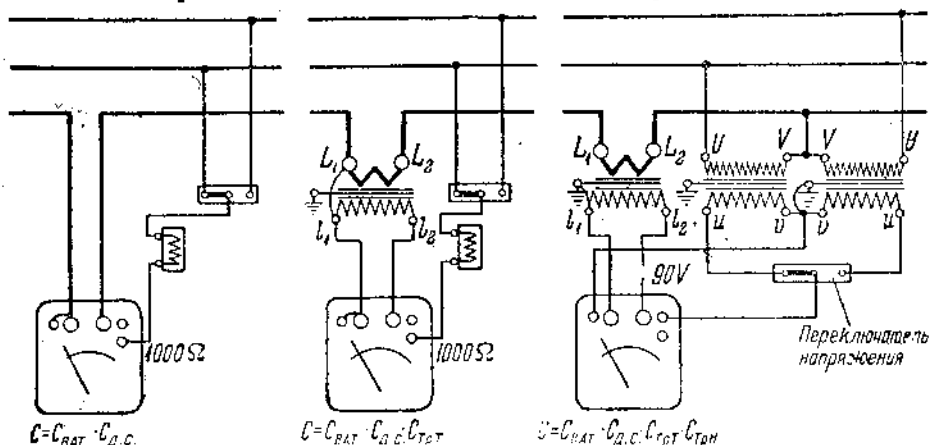
Обратить внимание: 1. Ваттметр включается тонкой обмоткой в ту ветвь добавочного сопротивления, которая имеет специальное обозначение, например, в приборах „С и Г“ красный кружок (имеет сопротивление на 1000 Ω меньше двух других). 2. При полукосвенном измерении вторичная обмотка трансформатора тока не заземляется. 3. При косвенном измерении заземляется точка соединения вторичных обмоток трансформаторов напряжения. 4. Точка соединения первичных обмоток трансформаторов напряжения соединяется с проводом, в который включен трансформатор тока. 5. Тонкая обмотка ваттметра включается в точку соединения вторичных обмоток трансформаторов напряжения. 6. На вторичной стороне трансформаторов напряжения соединяются в общую точку те же клеммы, что и на первичной.

Средний ряд клемм обозначен красным цветом (приборы С и Г) и к нему присоединяется катушка напряжения ваттметра через клемму 1000 Ω . Два другие конца присоединяются к остальным двум проводам сети. Внутри добавочного сопротивления образуется искусственная нулевая точка с тремя ветвями сопротивлений.

Необходимо помнить, что тонкая обмотка ваттметра должна включаться в ту ветвь, которая помечена красным кружком; эта ветвь имеет сопротивление меньшее, чем две другие, а вместе с сопротивлением ваттметра сопротивление этой ветви равно сопротивлению каждой другой. Ваттметр должен приключаться к добавочному сопротивлению той клеммой, которая обозначена на схеме, имеющейся на приборе. У прибора Сименс и Гальске этой клеммой является клемма 1000 Ω .

На схемах рис. 14 дано включение ваттметра с помощью искусственной нулевой точки. Как видим, для косвенного включения необходимы 2 тр-ра напряжения. Добавочное сопротивление включается клеммами 120 V.

Постоянная определяется так же, как при измерениях однофазного тока, т. е. она равна произведению постоянных ваттметра и всех приборов, увеличивающих пределы его измерений. Необходимо только пользоваться постоянной добавочного сопротивления, на нем проставленной, а не подсчитанной так, как это делалось в предыдущих примерах, так как сопротивление ветвей добавочного сопротивления с искусственной нулевой точкой подобрано не в нормальном соотношении с сопротивлением тонкой обмотки ваттметра. Если бы это со-



Мощность равна сумме мощностей, измеренных ваттметром в обоих положениях переключателя напряжения.

Рис. 15. Схемы измерения мощности трехфазного тока методом переключения напряжения.

Обратить внимание: 1. У тр-ов напряжения заземляется общая точка. 2. В общую точку на вторичной стороне тр-ов напряжения соединяются те же клеммы, что и на первичной.

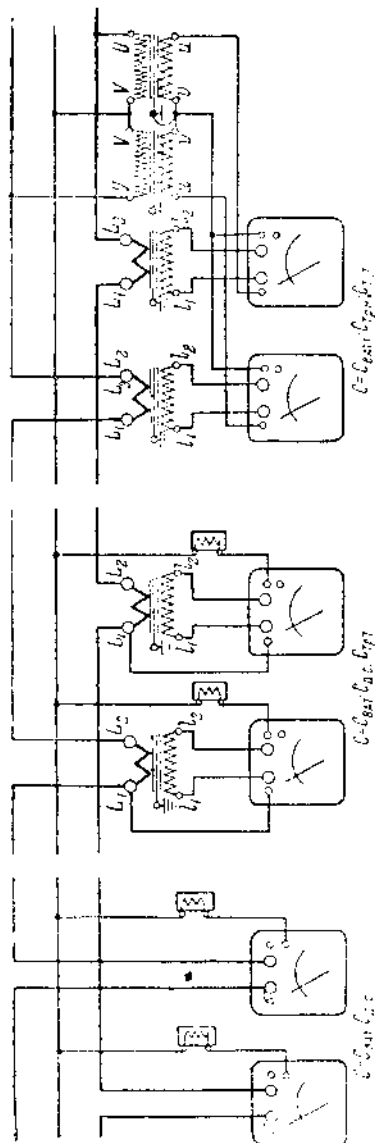
отношение было нормальным, то постоянную ваттметра пришлось бы умножать на дробное число, что неудобно. Поэтому для измерений мощности однофазной сети, с другой стороны добавочного сопротивления выведены клеммы для нормального отношения добавочного сопротивления к сопротивлению тонкой обмотки ваттметра.

Измерение мощности трехфазного тока одним ваттметром с нормальным добавочным сопротивлением. В том случае, если нет добавочного сопротивления с искусственной нулевой точкой, нужно измерение производить с нормальным добавочным сопротивлением, переключая попеременно тонкую обмотку ваттметра на напряжения между той фазой, в которой измеряется ток и двумя другими. Переключение производится переключателем, показанным на схемах рис. 15, там же даны схемы включения.

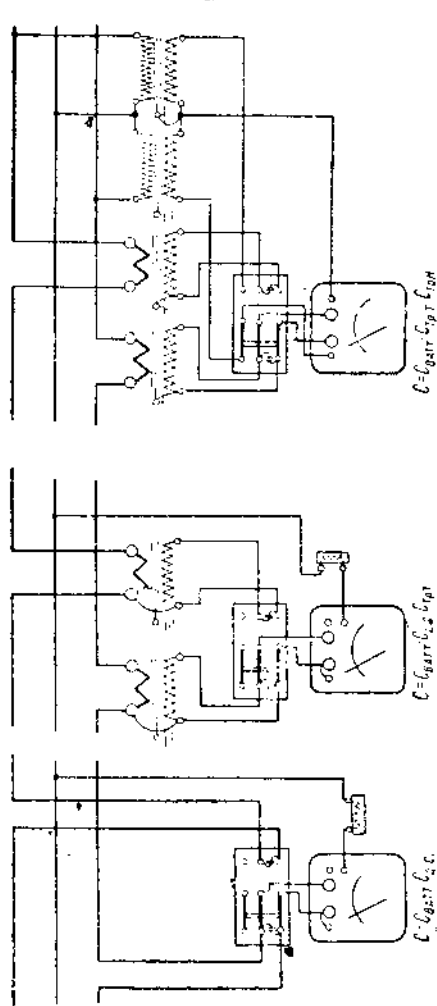
Измерений делается два: одно в одном положении переключателя, другое в другом. Мощность сети равна сумме обоих измерений. Если в одном положении переключателя стрелка уйдет за нуль, то следует переключить проводники, присоединенные к толстой обмотке или по-

Рис. 16. Схема измерения мощности трехфазного тока методом двух ваттметров (схема Арона).

Обратить внимание: 1. Тонкая обмотка каждого ваттметра включается одним концом в тот провод, в который включена толстая обмотка этого же ваттметра, другим концом в провод, к которому не подключены толстые обмотки (третий провод). 2. Вторую точку на вторичной стороне трансформаторов напряжения соединяется вместе, чтобы и на первичной. 3. Заземляется общая точка. 4. Третьим проводом при косвенном измерении для ваттметра является общая точка вторичных обмоток тр-ов напряжения, а третий провод сети присоединяется к общей точке первичных обмоток тр-ов напряжения.



Мощность равна алгебраической сумме мощностей, измеренных обоими ваттметрами.



Мощность равна алгебраической сумме мощностей, измеренных ваттметром и обоим положенных переключателям.

Рис. 17. Схема измерения мощности трехфазного тока методом двух ваттметров с помощью одного ваттметра и переключателя специальной конструкции.

Обратить внимание: 1. Как и в предыдущих схемах, на заземление и общую точку тр-ов напряжения. 2. На включение тонкой обмотки ваттметра.

вернуть специальный переключатель, имеющийся в ваттметре, после чего стрелка отклонится нормально, но при этом нужно не складывать мощности, полученные при обоих измерениях, а вычитать из большей меньшую.

Постоянная определяется так же, как для однофазного тока.

Описанные способы применимы в тех случаях, когда есть уверенность, что нет большой разницы в нагрузке фаз. В большинстве случаев измерение мощности трехфазного тока одним ваттметром неточно, потому что даже в двигателях нагрузка фаз не совсем одинакова. Зато этот способ очень удобен при колеблющейся нагрузке сети, так как отсчет делается только по одному ваттметру. При измерениях с помощью переключателя, это преимущество отпадает.

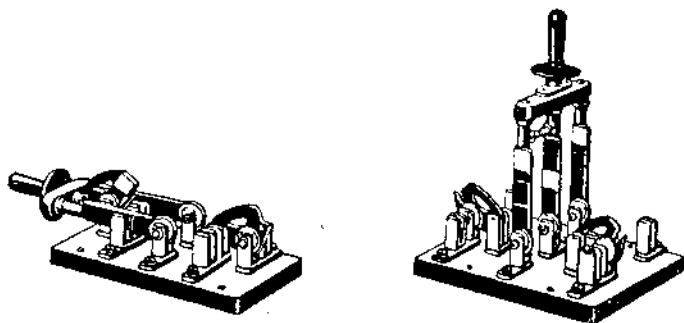


Рис. 18. Ваттметровый переключатель.

Измерение мощности двумя ваттметрами. Измерение мощности двумя ваттметрами по так называемой схеме Арона является наиболее точным при достаточной простоте. Оно применимо и для равномерной и для неравномерной нагрузки фаз. Схема Арона не вполне удобна при колеблющейся нагрузке, так как необходимо делать отсчет на двух приборах. Кроме того схема Арона неприменима в случае наличия нулевого провода, если по нему проходит уравнивающий ток.

На рис. 16 даны схемы включения. Ваттметры толстыми обмотками включены каждый в одну фазу, а тонкие обмотки приключены между этими фазами и третьей. То же самое получается, если применить один ваттметр и так называемый ваттметровый переключатель, с помощью которого этот ваттметр переключается поочередно в положение обоих ваттметров схемы Арона. Такие схемы даны на рис. 17. Ваттметровый переключатель показан отдельно на рис. 18. Он имеет приспособление, замыкающее ту фазу, из которой выключается толстая обмотка ваттметра, причем замыкание происходит раньше, чем ножи переключателя выходят из гнезда, и размыкание позже, чем они входят в гнезда. Иначе получился бы разрыв цепи со всеми последствиями.

При включении переключателя в схемы нужно следить за тем, чтобы не было ошибки. Она заключается в том, что при переключении переключателя меняется направление тока в толстой обмотке ваттметра. При этом изменяется направление отклонения стрелки.

На рис. 19 показаны верное и неверное включения.

Измеряемая мощность равна сумме мощностей, измеренных обоими ваттметрами (или одним в обоих положениях ваттметрового переключателя), в том случае, если специальные переключатели, имеющиеся на ваттметрах, стоят в одинаковом положении, — и разности, если они стоят в разных положениях (вследствие отклонения одного из ваттметров в обратную сторону).

Постоянная для каждого ваттметра определяется так же, как при включении ваттметра в однофазную сеть.

Существуют ваттметры специально для измерения по схеме Арона с одним прибором. Эти ваттметры имеют две системы катушек, причем подвижные катушки сидят на одной оси. Отклонение стрелки прибора соответствует полной измеряемой мощности. При пользовании таким

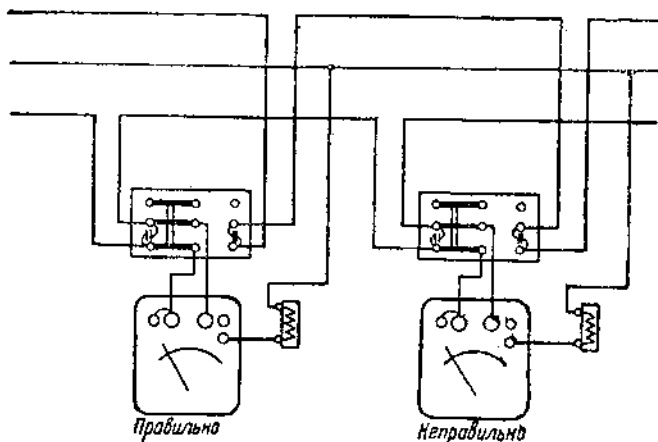


Рис. 19. Правильное и неправильное включение ваттметрового переключателя.

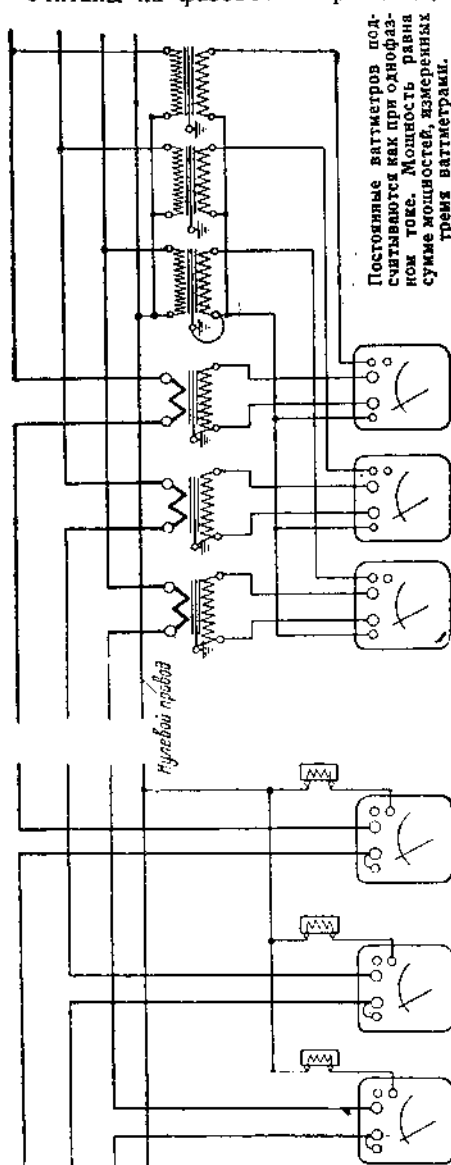
При неверном включении левая клемма толстой обмотки в одном положении переключателя присоединена к генератору, а в другом положении к потребителю. Стрелка ваттметра отклонится в разные стороны в то время, когда должна отклониться в одну сторону и наоборот.

прибором ваттметровый переключатель не нужен. (Ваттметр имеет 7 клемм.) Помимо того, точность измерения выше, потому что отпадает необходимость в двух отсчетах.

Измерение мощности тремя ваттметрами. Метод измерения мощности трехфазного тока тремя ваттметрами является наиболее универсальным, но и менее удобным, требуя наличия трех ваттметров. Можно, правда, и в этом случае обойтись одним ваттметром, применяя два таких переключателя, какой показан на рис. 18, но ввиду сложности схемы и пользования ею этот способ не нашел применения и здесь не описывается. Способ трех ваттметров является наиболее пригодным при неравномерной нагрузке фаз и наличии нулевого (уравнительного) провода, по которому протекает уравнительный ток, вызванный неравномерностью нагрузки фаз.

На рис. 20 приведена схема включения при наличии нулевого провода. На рис. 21 даны схемы включения при отсутствии нулевого провода, в этом случае образуется искусственная нулевая точка. Сле-

дует иметь в виду, что тонкие обмотки ваттметров измеряют фазное напряжение (между нулем и фазой), которое в 1,73 раза меньше линейного. Соответственно добавочные сопротивления должны быть рассчитаны на фазовое напряжение.



Постоянные ваттметров подсчитываются как при однофазном токе. Мощность равна сумме мощностей измеренных тремя ваттметрами.

Рис. 20. Измерение мощности тремя ваттметрами при наличии нулевого провода.

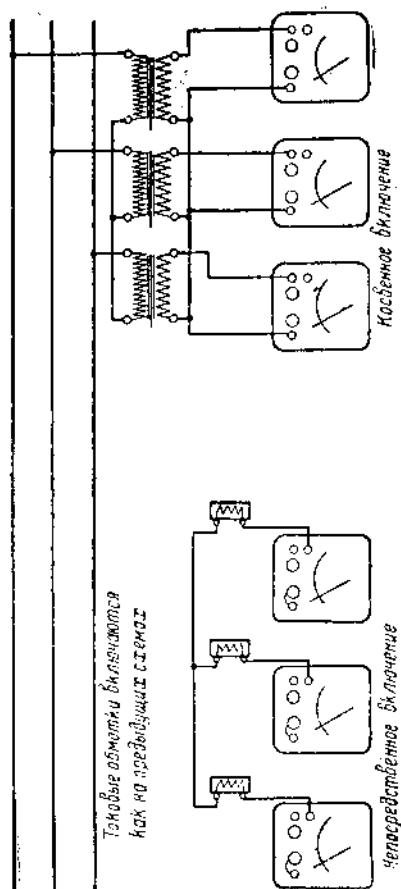


Рис. 21. Измерение мощности трехфазного тока тремя ваттметрами при отсутствии нулевого провода.

При измерении по схемам рис. 20—21 измеряемая мощность равна сумме мощностей, отсчитанных по отдельным ваттметрам.

При испытаниях машин в большинстве случаев одновременно с измерением мощности производится измерение тока, напряжения и частоты. При включении соответствующих приборов можно пользоваться правилом:

Вольтметр и частотомер приключаются обычно в тех точках, где включается тонкая обмотка ваттметра. Вольтметр подбирается на напряжение сети.

Амперметр включается последовательно с толстой обмоткой ваттметра и должен быть рассчитан на предполагаемый при измерении ток.

При испытаниях малых машин включение каждого прибора должно быть обдумано для того, чтобы потери в приборах меньше сказывались на точности измерения.

На рис. 22 показана схема Арона с включенными амперметрами, вольтметрами и частотометром. Проводник, соединяющий ваттметр и амперметр, должен быть возможно толще и короче, чтобы в нем не было значительного падения напряжения.

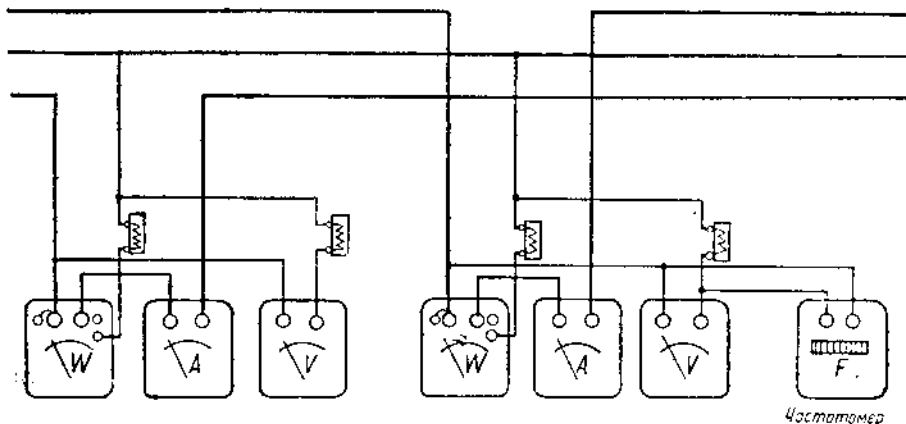


Рис. 22. Включение вольтметров и амперметров в схеме измерения мощности.

При измерениях по методу двух ваттметров, амперметры в разных фазах показывают одинаково, а ваттметры разное. Этим не следует смущаться, так как явление вполне нормальное и объясняется особенностями схемы Арона.

§ 12. ПОТЕРИ В ПРИБОРАХ.

Измерительные приборы сами потребляют небольшое количество энергии, уходящей на нагревание их катушек и сопротивлений. При испытании машин малой мощности (примерно меньше 10 kW) эти потери могут искажать измерения. На рис. 23 дана схема включения вольтметра и тонкой обмотки ваттметра: до и после амперметра. Если считать, что энергия идет слева направо по стрелке, т. е. генератор находится слева, а потребитель справа, то при включении тонких обмоток в точке В по амперметру и толстой обмотке ваттметра проходит не только ток, попадающий к потребителю, но и проходящий через тонкие обмотки приборов; амперметр очевидно показывает при этом ток больше потребляемого потребителем. Если тонкие обмотки включены в точке А, то амперметр показывает правильно, но вольтметр показывает немного больше, так как к напряжению у потребителя добавляется падение напряжения в толстых обмотках амперметра

и ваттметра. Ваттметр в обоих случаях дает преувеличенные показания. Для того, чтобы ошибки были наименьшими, можно пользоваться правилом: если измеряется мощность, отдаваемая генератором, то тонкие обмотки приключаются с его стороны (точка А, рис. 23), а если измеряется мощность, потребляемая приемником, то тонкие обмотки приключаются с его стороны (точка В, рис. 23).

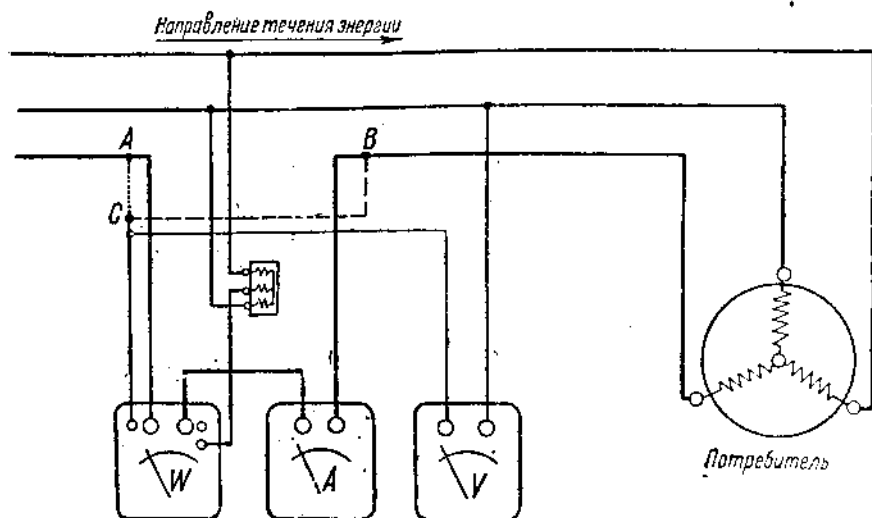


Рис. 23. Включение тонких обмоток приборов для уменьшения влияния потерь энергии в приборах на измерение мощности.

Рекомендуется: для измерения мощности генератора включить точку С в точку А (пунктир точками), для измерения мощности потребителя включить точку С в точку В (пунктир черточками). При включении трансформаторов, считать первичные обмотки тр-ров как соответствующие обмотки приборов.

При наличии в схеме частотомера, он должен быть включен так, чтобы не влиять на показания ваттметра, т. е. чтобы потребляемый им ток не проходил через толстую обмотку ваттметра.

§ 13. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ.

Способ амперметра и вольтметра. На рис. 24 дана схема для измерения сопротивления способом амперметра и вольтметра. Через измеряемое сопротивление и амперметр пропускается ток от батареи; при этом вольтметром измеряется падение напряжения на концах сопротивления. По закону Ома сопротивление проводника R равно напряжению на его концах U , деленному на ток I , по нему протекающий. То и другое нами измерено, следовательно, мы можем вычислить сопротивление по формуле

$$R = \frac{U}{I}. \quad (17)$$

Для грубой регулировки напряжения в цепь батареи включен потенциометр, а для тонкой — реостат (разница в способах включения). При движении ползуна потенциометра по стрелке напряжение изме-

няется от нуля до полного напряжения батареи. К вольтметру напряжение подводится с помощью щупов. Вся схема, изображенная на рис. 24, обычно монтируется в виде специального измерительного столика.

Как правило, приборами для измерения сопротивлений служат прецизионные милливольтметры, включаемые, в зависимости от надобности, как амперметр или вольтметр с помощью шунтов и добавочных сопротивлений.

Порядок работы следующий: работают трое, схема собрана, измеряемое сопротивление не присоединено, щупы отняты. Один работаю-

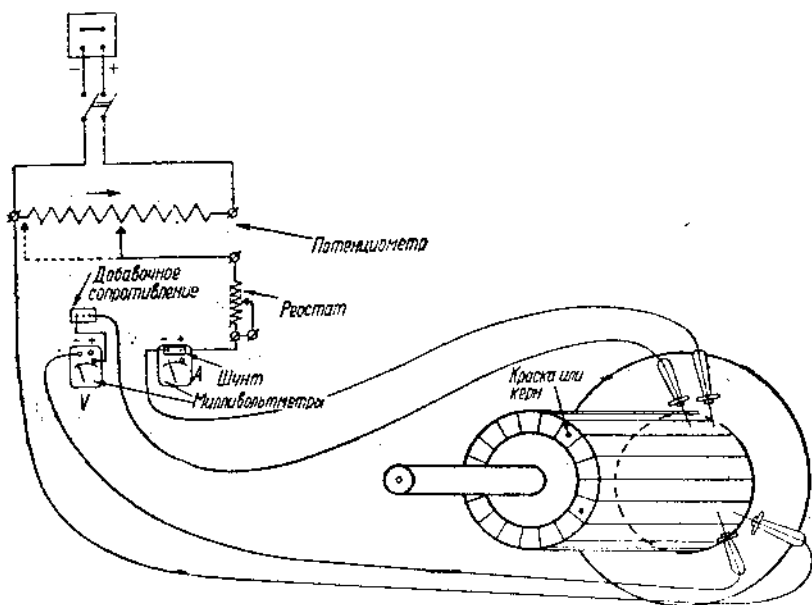


Рис. 24. Схема измерения сопротивления методом амперметра и вольтметра (измеряется сопротивление обмотки якоря).

щий ставит щупы от амперметра к сопротивлению, после этого другой включает рубильник, двигая ползун потенциометра от положения, показанного пунктиром, дает небольшой ток, затем, по его команде, третий работающий включает с помощью щупа вольтметр и держит не отнимая до тех пор, пока первый не скамандует „снять“. Реостат (потенциометр) доводится до такого положения, пока один из приборов дойдет до конца шкалы. В этом положении делается запись показаний обоих приборов, затем ток снижается приблизительно до $\frac{3}{4}$ записанного значения и повторяется запись, затем до половины и также записываются показания; по команде снимают сначала щупы вольтметра, а затем амперметра. Если подаваемый ток велик, то включение его производится не щупами, а проводником, поджатым под гайки.

Техника записи такова: отсчитанные показания приборов (в делениях шкалы) записываются в виде таблицы, как показано ниже. Отдельно записываются постоянные приборов и их номера.

Записывать нужно четко и ясно, предпочтительнее чернилами; очень удобно писать, положив и припилив лист бумаги на кусок картона немного большего размера.

Работающий щупами должен это делать внимательно, прикладывать и отнимать их по команде, нажимать все время равномерно и следить за тем, чтобы они не соскользнули. Места для прикладывания щупов должны быть выбраны возможно ближе к измеряемому сопротивлению, например, на концах обмотки, а не на соединительных проводах между ней и другими частями машины; это чрезвычайно важно для обмоток с низким сопротивлением (добавочных полюсов, последовательной обмотки и т. д.).

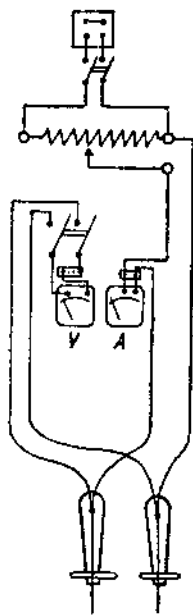


Рис. 25. Щупы.

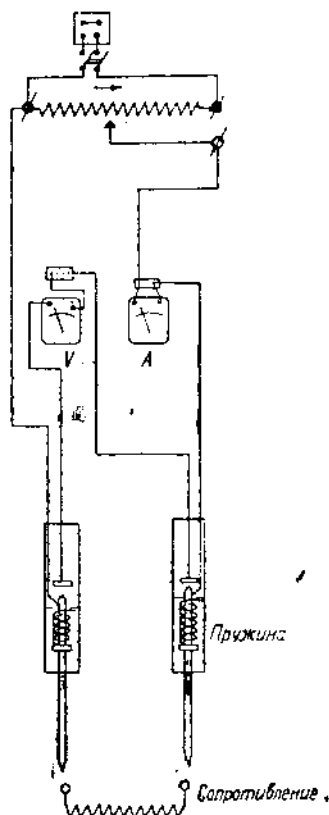


Рис. 26. Щупы с автоматическим отключением вольтметра.

Часто применяются щупы, изображенные на рис. 25; с их помощью подводится и напряжение и ток, что упрощает работу. Иногда применяются щупы, изображенные на рис. 26. Они очень удобны, но пригодны (так же, как и щупы рис. 25) для высоких сопротивлений, так как вольтметр измеряет напряжение не под щупом, а на нем. При этом к действительному падению напряжения в измеряемом сопротивлении добавляется падение напряжения в переходном сопротивлении между щупом и тем местом, где он прикасается. Это падение напряжения очень мало, но если измеряется малое сопротивление (например сопротивление якоря или последовательно с ним включенных обмоток),

то оно может быть больше падения напряжения в самом измеряемом сопротивлении и совершенно искажает результаты.

При работе со щупом рис. 25 следует не забывать: рубильники замыкать только после того, как щупы приключены к сопротивлению, и размыкать до отключения щупов; не снимать щупы с места даже на мгновение, пока рубильник вольтметра включен. Если одно из этих правил не будет соблюдено, прибор может сгореть. Можно обойтись без щупов, если имеется возможность провода измерительной схемы включить под гайки, но при этом необходимо соблюдать следующий порядок включения и выключения рубильников: включать вначале рубильник батареи, потом вольтметра, выключать — вначале рубильник вольтметра, потом батареи.

Подсчет сопротивления. Подсчет сопротивления в действительности несколько сложнее, чем по формуле (17). Дело в том, что через амперметр проходит сумма токов, проходящих через измеряемое сопротивление и через вольтметр. Следовательно ток, проходящий по измеряемому сопротивлению, несколько меньше показываемого амперметром. Чтобы учесть эту ошибку, можно воспользоваться формулой:

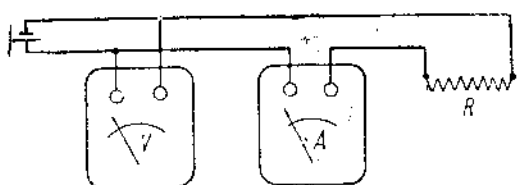


Рис. 27.

$$R = \frac{R_1}{1 - \frac{R_1}{R_V}}, \quad (18)$$

где: R — действительное сопротивление,

R_1 — сопротивление, подсчитанное по формуле (17),

R_V — сопротивление вольтметра (вместе с добавочным сопротивлением).

Величина $\frac{R_1}{R_V}$ в формуле (18) называется поправкой. Для точности измерения выгодно эту поправку иметь возможно меньше: очевидно, что для этого нужно иметь сопротивление вольтметра возможно большим по сравнению с измеряемым сопротивлением.

Вторым выходом из положения является схема, изображенная на рис. 27; здесь напряжение измеряется до амперметра, и последний не учитывает ток вольтметра, но зато вольтметр учитывает падение напряжения в амперметре, поэтому и способ этот применим только тогда, когда измеряемое сопротивление очень велико по сравнению с сопротивлением амперметра.

Как видим из таблицы (стр. 45), при измерении сопротивления записывается температура среды, окружающей машину ($t_{окр}$), так как сопротивление зависит от температуры. Нормальным считается сопротивление при 15°C ; поэтому после подсчета сопротивления по формуле (18) его приводят к 15°C , т. е. вычисляют, каково оно было бы при 15°C . Для этого существует формула:

$$R_{15} = \frac{R_t}{1 + (t - 15) \cdot 0,004}, \quad (19)$$

где: R_{15} — сопротивление при 15°C ,

R_t — сопротивление, подсчитанное по формуле (18),

t — температура при измерениях.

Примечание. Формула справедлива только для медных проводников. В случае других материалов следует вместо 0,004 подставлять другой коэффициент.

Все сказанное ясно показывает, насколько тщательно должно производиться измерение сопротивления. Для этого нужно строго выполнять следующие правила:

1. Пользоваться поверенными приборами.
2. Если измерение повторяется, то пользоваться одними и теми же приборами; взяв прибор, сразу же записать его номер в протоколе испытаний.

3. Провода от амперметра к шунту брать калиброванные для них.

4. Тщательно отсчитывать доли деления шкалы. (Например, отсчитывать 0,5 деления от 0,6.)

5. Совершенно одновременно отсчитывать на приборах по команде.

Измерение сопротивления отдельных обмоток и правила для этого описаны в соответствующих местах IV, V, VI и VII глав.

Второй способ измерения сопротивления более точный, но реже применяемый из-за сложности, — способ измерения мостиком Томсона. За неизменением места, этот способ не описывается.

Пример подсчета сопротивления.

Результаты измерения приведены в нижеследующей таблице.

Испытательное отделение									
Измерение сопротивления						Дата: 19 марта 1933 г.			
Предмет: турбовозбудитель						Фабр. № 196518			
Тип: Е-71 а				Заказ №		$\frac{C_V}{C_A}$	Омы	$t_{\text{окр}}$ °C	Сопротивление изоляции
Обмотка	Предписанное сопротивление	Вольты		Амперы					
		Цена деления C_V	Отсчет	Цена деления C_A	Отсчет				
Якорь	0,00260	№135678		№135679		0,003			
		0,0003	71,8	0,1	81,2		0,00265	23	
		0,0003	52,6	0,1	59,3		0,00266	23	
		0,0003	29,8	0,1	33,4		0,00267	23	
		Среднее = 0,00266							

Для измерений были взяты:

1. Вольтметр 0,045 V, со шкалой 150° .

$$\text{Цена деления } C_V = \frac{0,045}{150} = 0,0003 \text{ V}.$$

2. Амперметр — 15 A со шкалой 150° .

$$\text{Цена деления } C_A = \frac{15}{150} = 0,1 \text{ A}.$$

Отношение постоянной вольтметра к постоянной амперметра:

$$\frac{C_V}{C_A} = \frac{0,0003}{0,1} = 0,003.$$

Сопротивление по трем измерениям:

$$R = \frac{71,8}{82,2} 0,003 = 0,00265 \Omega,$$

$$R = \frac{52,6}{59,3} 0,003 = 0,00266 \Omega,$$

$$R = \frac{29,8}{33,4} 0,003 = 0,00267 \Omega.$$

Средняя величина сопротивления

$$R_1 = \frac{0,00265 + 0,00266 + 0,00267}{3} = 0,00266 \Omega.$$

По измеренному R_1 находим действительное сопротивление с помощью формулы (18).

Для этого нужно знать сопротивление вольтметра. В нашем случае оно равно 1Ω и согласно (18):

$$R = \frac{0,00266}{1 - \frac{0,00266}{1}} = 0,00267 \Omega.$$

И, наконец, последнее — приведение сопротивления к 15°C по формуле (19):

$$R_{15} = \frac{0,00267}{1 + (23 - 15) 0,004} = \frac{0,00267}{1 + 0,032} = 0,00258 \Omega.$$

§ 14. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ.

Надежность изоляции — одно из основных качеств электрической машины. Сопротивление изоляции, как всякое сопротивление прохождению электрического тока, измеряется в омах; но так как это сопротивление обычно очень велико, то его измеряют не омами, а мегомами (обозначение $\text{M}\Omega$). Один мегом равен миллиону ом. Сопротивление изоляции определяется между отдельными обмотками и корпусом, и иногда между обмотками (см. главу IV).

Сопротивление изоляции электрической машины колеблется от 0,1 до 200 $\text{M}\Omega$. Наименьшее допустимое сопротивление изоляции между любой обмоткой и корпусом определяется по формуле:

$$\text{M}\Omega = \frac{\text{Номинальное напряжение в вольтах}}{\text{Номинальная мощность в киловаттах} + 1000}. \quad (20)$$

Эта формула дает наименьшее допустимое сопротивление изоляции для машины в горячем состоянии. В холодной же машине сопротивление изоляции должно быть раза в три больше, что нужно помнить при измерении сопротивления изоляции холодной машины.

В производстве машин иногда пользуются следующими данными для допустимого сопротивления изоляции при 60° С:

турбогенераторы и высоковольтные генераторы	—	$M\Omega = 0,5 \times \text{киловатты}$
асинхронные двигатели	0—600 вольт	1 $M\Omega$
"	2000—3500 "	4 $M\Omega$
"	выше "	как у турбогенераторов
машины постоянного тока	0—650 вольт	1 $M\Omega$

Для измерения сопротивления изоляции существуют три способа: 1. Меггером. 2. Вольтметром. 3. Лампочкой.

Меггер (рис. 28), или, как его иначе неправильно называют, индуктор — дает при вращении постоянный пульсирующий ток. Меггеры строят на 240, 500, 1000 и до 2500 вольт. Для электрических машин, имеющих напряжение выше 80 вольт, меггер должен быть не ниже, чем на 500 вольт. Для измерения сопротивления изоляции два щупа присоединены своими проводами к клеммам меггера: „земля“, „линия“. Измерение производят два человека, один прикасается остриями щупов к частям, между которыми производится измерение, а другой вращает в это время ручку меггера и делает отсчет (клемма с надписью „земля“ соединяется с корпусом, если изоляция проверяется относительно корпуса). Вращать нужно не медленнее, чем 2,5 оборота в секунду. Вначале нужно вращать медленно, чтобы, в случае корпусного замыкания, стрелка не получила бы резкого толчка.

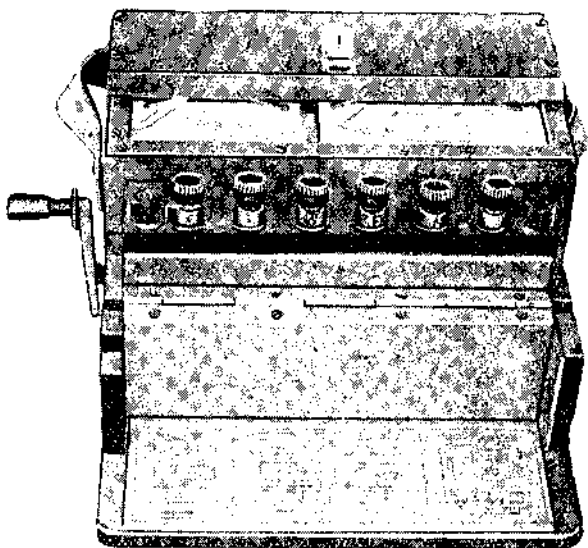


Рис. 28. Меггер.

При измерении сопротивления изоляции крупных машин, нужно вращать ручку 1—1½ минуты, так как стрелка в этих случаях устанавливается не сразу.

Прежде, чем производить измерение сопротивления изоляции, нужно проверить сам меггер и его соединение с землей (корпусом). Первое делают, вращая быстро меггер и оставляя один щуп не присоединенным никуда (держат в воздухе); при этом меггер должен показать бесконечность.

Для проверки корпуса второй щуп также ставится на корпус (но не соединять щупы вместе, корпус будет выключен). Вращать меггер медленно. Стрелка броском должна стать на нуль.

Способ вольтметра. В этой схеме вольтметр, по существу, служит миллиамперметром. На рис. 29 дана схема для пользования на-

пряжением сети. Источник тока одним полюсом приключен к корпусу, а другим к вольтметру. К свободному зажиму вольтметра приключен шуп. При пользовании напряжением сети нужно обратить внимание на следующее. Как видно из схемы (рис. 29), один полюс сети приходится заземлять на время измерения. Часто сеть бывает сама заземлена одним полюсом, и если для измерения сопротивления изоляции заземлить второй, то получится короткое замыкание. Поэтому предварительно нужно проверить вольтметром напряжение между землей и обоими проводами сети и заземлить тот, который показывает 0 или меньшее напряжение (см. рис. 30).

Для измерения сопротивления изоляции измеряют напряжение между точкой *a* и точками *c* и *b*, иначе говоря, напряжение источника тока

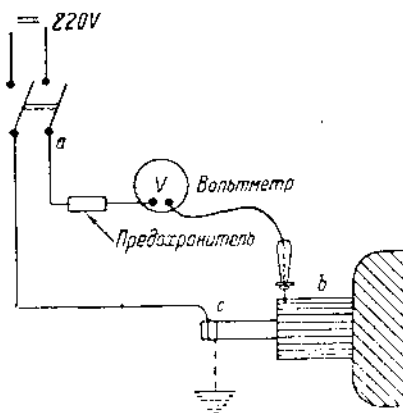


Рис. 29. Проверка сопротивления изоляции вольтметром.

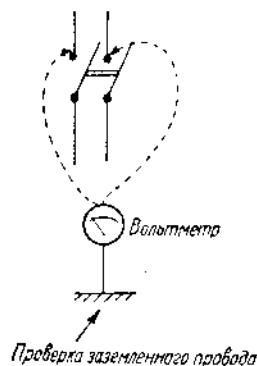


Рис. 30.

и падение напряжения в вольтметре, включенном последовательно с измеряемым сопротивлением. Сопротивление изоляции подсчитывается по формуле:

$$R_{из} = R_V \left(\frac{U_c}{U_V} - 1 \right), \quad (20a)$$

где: $R_{из}$ — сопротивление изоляции,

U_c — напряжение сети (между точками *a* и *c*).

U_V — падение напряжения в вольтметре (между точками *a* и *b*),

R_V — сопротивление вольтметра.

При работе со щупом следует соблюдать правило: первоначально прикоснуться на мгновение к точкам для измерения, чтобы проверить, в какую сторону отклоняется вольтметр, и если стрелка заходит за нуль, то переключить зажимы вольтметра.

Пример: при измерении сопротивления изоляции обмотки определено напряжение источника тока $U_c = 500$ V, при включении вольтметра последовательно в цепь изоляции $U_V = 9,6$ V, сопротивление вольтметра вместе с добавочным сопротивлением равно $R_V = 100\,000$ Ω.

Подставляем в формуле (20):

$$R_{из} = 100\,000 \left(\frac{500}{9,6} - 1 \right) = 100\,000 \frac{500 - 9,6}{9,6} = 5\,340\,000 \approx 5,3 \text{ М}\Omega$$

(округленно).

Как видно из примера, напряжение, измеренное при последовательном включении вольтметра, может быть очень мало (9,6 В в примере). Может возникнуть желание переключить вольтметр на другой предел измерений; делать это не рекомендуется, так как есть риск повредить вольтметр (в случае пробоя изоляции), а отклонение стрелки останется таким же.

Для того, чтобы возможно было более или менее точно измерить сопротивление изоляции, нужно подбирать вольтметр так, чтобы его собственное сопротивление было возможно выше при пределе измерений, близком к напряжению источника тока.

Способ вольтметра может применяться только в том случае, если напряжение сети не ниже 200 В и ток — постоянный.

Способ проверки изоляции **лампочкой** очень прост, но пригоден только для обнаружения замыкания, величину же сопротивления изоляции не дает возможности измерить. Применяется, главным образом, при предварительном контроле в производстве электрических машин и при их ремонте. Схема такая же, как рис. 29, только вместо вольтметра включается лампочка (по возможности малой мощности). Следует помнить, что лампочка должна быть в том проводе, который приключается к обмотке, а к корпусу должен быть присоединен заземленный провод сети, так же, как для измерения вольтметром. Если эти два условия не соблюдены, может быть или короткое замыкание или будет превратное суждение об изоляции машины. По накалу нити лампы можно судить о состоянии изоляции.

Наилучшим способом является меггер, так как он дает относительно высокое напряжение, одновременно безопасное для жизни, и относительно большую точность измерений. Способ вольтметра значительно хуже, так как измерения очень приблизительные. О применимости лампочки сказано выше.

§ 15. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР.

Для непосредственного измерения температуры различных частей машины пользуются термометрами, термопарами и так называемыми детекторами сопротивлений.

Термометры применяются обычные ртутные, со шкалой не менее, чем до 120° С. Устанавливаются в доступных частях машины, в воздухе, масле подшипников и в воде¹⁾. При установке в частях машины резервуар со ртутью нужно обернуть станиолом (тонким листовым оловом) так, чтобы получился комок, который нужно плотно прижать к измеряемому месту; лучше, если есть какое-нибудь углубление, иногда его можно высверлить. Заложив термометр на место, нужно его шарик со ртутью плотно прикрыть ватой. Делается это

¹⁾ Вода имеется в случае охлаждения масла подшипников и воздуха турбогенератора.

для того, чтобы тепло хорошо передавалось в термометре, а сам он не отдавал бы тепло окружающему воздуху. Когда измерения закончены, нужно станиоль вынуть, это особо важно для обмотки, где он может прилипнуть. При установке в воздухе, воде и масле, термометр подвешивается на натянутой бечевке. Термометр должен быть по возможности в вертикальном положении. Частая порча термометров заключается в том, что столбик ртути разрывается. В этом случае нужно термометр осторожно подогреть в воде или масле до тех пор, пока ртуть соединится.

Термометр нужно избегать ставить в таких местах, где он может подвергаться влиянию поля переменного тока, так как оно индуцирует во ртути токи Фуко, ртуть нагревается и термометр дает преувеличенные показания.

Измерение температуры термопарами. Принцип измерения температуры термопарами основан на том, что место соединения двух разных металлов создает электродвижущую силу.

Величина электродвижущей силы зависит от температуры места соединения и тем больше, чем выше температура.

Термопара представляет собой две проволоки разного металла (чаще медь — константан), спаянные или сваренные двумя концами. Два другие конца присоединяются к милливольтметру. Если спай имеет температуру другую, по сравнению с концами, присоединенными к милливольтметру, то в нем возникает электродвижущая сила, неравная электродвижущей силе другого конца. Разность этих электродвижущих сил создает ток, тем больший, чем больше эта разность. Милливольтметр дает отклонение, пропорциональное разности температур, и его шкала обычно градуируется на градусы температуры. При этом градуировка может быть с учетом сопротивления термопары или без него. Помимо того, градуировка действительна только для термопар определенных металлов: на приборе всегда указываются эти металлы.

В том случае, если сопротивление термопары не учтено при градуировке, милливольтметр дает правильные показания только для термопар, имеющих такое же сопротивление, при котором градуирован прибор. Если измерение приходится производить с термопарой иного сопротивления, то для получения действительной температуры можно пользоваться следующей формулой:

$$\Delta t^{\circ} = \alpha \left(\frac{R_v + r_1}{R_v + r} \right), \quad (21)$$

где: Δt° — разность температур спаев и концов термопары,

α — число градусов температуры, показанное прибором,

R_v — сопротивление милливольтметра,

r — сопротивление термопары, на которую градуирован милливольтметр,

r_1 — сопротивление термопары, с которой производится измерение.

Если же милливольтметр градуирован на градусы температуры для термопары с нулевым сопротивлением, то нужно пользоваться формулой:

$$\Delta t^{\circ} = \alpha \left(1 + \frac{r_1}{R_v} \right). \quad (22)$$

Например: термопара медь — константан длиной 5 м и диаметром проволоки 0,5 мм имеют сопротивление около 12 Ω. Сопротивление милливольтметра 173 Ω. При измерении прибор показал 47°, в действительности, согласно формуле (22), имеем:

$$\Delta t^{\circ} = 47 \times \left(1 + \frac{12}{173}\right) = 50,2^{\circ}.$$

Если в распоряжении работающего нет прибора, градуированного на градусы температуры, то можно воспользоваться любым милливольтметром. Температура (перегрев Δt°) в этом случае будет определяться по формуле:

$$\Delta t^{\circ} = 24 \times (mV) \times \frac{R_v + r_1}{R_v}, \quad (23)$$

где: (mV) — милливольты, измеренные прибором,

R_v — сопротивление прибора,

r_1 — сопротивление термопары,

24 — коэффициент для термопары медь — константан.

В том случае, если сопротивление термопары неизвестно, можно воспользоваться схемой рис. 31. Здесь I — термопара, заложенная в место, температура которого измеряется, II — термопара из таких же металлов любого сопротивления, опущенная в ванночку с маслом. Туда же опущен термометр, так, чтобы его шарик со ртутью был рядом со спаем термопары. Обе термопары соединены между собой и с милливольтметром, как показано на рис. 31, причем термопары соединены своими проводниками одинакового металла. Милливольтметр дает отклонение, если есть разность температур на спаях термопар. Если подогревать масло, то электродвижущая сила термопары II будет расти. Когда она станет равной электродвижущей силе термопары I, разность будет равна нулю, и стрелка милливольтметра станет на нуль. В это время термометр, находящийся в масле, показывает температуру места, где заложена термопара I (но не перегрев над окружающим воздухом, как при обычном измерении).

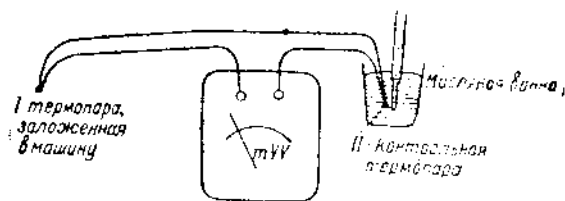


Рис. 31.

Следует помнить, что термопары измеряют разность температур обогреваемого и необогреваемого концов. Например: в помещении, температура которого 18°, приложен спай к работающей машине; прибор показал 36°. Это значит, что температура спая выше температуры прибора на 36°. В действительности же машина нагрета до: $36^{\circ} + 18^{\circ} = 54^{\circ}$. Поэтому у клемм милливольтметра, т. е. там, где приключены холодные концы термопары, должен находиться термометр, измеряющий температуру окружающего воздуха, а значит и холодных концов термопары.

Термопары медь — константан следует приключать медью к плюсовой клемме милливольтметра, иначе стрелка уйдет за нуль. Это может иметь место и при правильном включении, если спай холоднее воздуха, окружающего прибор.

Обычные термопары состоят из медной и константановой проволоки. Завод „Севкабель“ выпускает такой термопарный провод в виде обычных бухт. Каждая проволока изолирована, и обе находятся в общей оплетке. Термопару же, как таковую, нужно изготовить самому. Для этого термопарный провод нарезается на стандартные куски. В каждом куске с одного конца медь и константан спаиваются оловом. Необходимо следить за тем, чтобы спай был доброкачественным, иначе термопара может давать неверные показания. Для этого нужно: изоляцию не счищать ножом, а сдвинуть ее доотказа, металл очистить стеклянной или наждачной шкуркой и скрутить концы до самой изоляции. После этого скрутку пропаять паяльником, или опустить в ванну с распла-

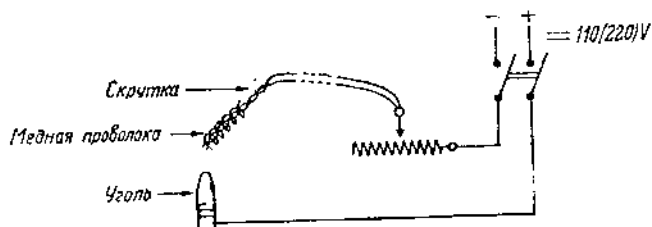


Рис. 32. Сварка термопар.

вленным оловом. Паять с гарпиусом (канифолью), но ни в коем случае не пользоваться кислотой. От спаия откусить лишнее, так чтобы остался спай 6—10 мм.

Для измерения температуры выше 150° применяются сварные термопары, так как олово при этой температуре может расплавиться, и термопара может давать неверные показания. Термопару можно сварить с помощью электросварки. Как показал опыт, лучше всего получается, если поступать следующим способом: очищенные концы скручиваются и, помимо того, скрутка обвивается медной проволокой, взятой с термопарного провода. Длина скрутки 5 мм. Затем собирается схема рис. 32. Ток берется постоянный от сети 110 В или 220 В через реостат. Для сварки нужно 5—8 ампер. Одним электродом служит скрутка, а другим — уголь от дуговой лампы. Уголь приключается к положительному полюсу. Сваривать так: прикоснуться скруткой к углю и медленно отвести, пока дуга станет тонкой и длинной; как только вся скрутка оплавится в шарик, разорвать дугу. При сварке обязательно иметь защитные очки.

Следует строго придерживаться стандартных, установленных длин и отрезать термопару возможно точно. Необходимо это потому, что длина ее сказывается на сопротивлении и, следовательно, на точности измерения. Иногда термопары для предохранения от всяких повреждений снабжаются свинцовой оболочкой.

О способах и правилах установки термопар сказано в III главе, § 7. Измерение температуры обычно производится не с помощью одного милливольтметра, а так называемым термоящиком. В этом ящике смон-

тирован милливольтметр, переключатель и клеммы на 20 или 21 термопару. Поворачивая ручку переключателя на номер какой-либо термопары, мы включаем ее на прибор. У клемм нужно класть термометр, который измеряет температуру окружающего воздуха. При отсутствии такого термометра можно воспользоваться милливольтметром и переключателем любой конструкции, необходимо только, чтобы контакт был надежным.

Измерение температуры детекторами сопротивлений. Детектором сопротивления называется сопротивление из проволоки, заложенное в какую-либо часть машины и служащее для измерения температуры этого места. Принцип такого способа измерений заключается в том, что металл при изменении температуры меняет свое удельное сопротивление: при нагревании оно увеличивается, а при охлаждении уменьшается. Сопротивление детектора при определенной температуре (обычно 15°) известно, или может быть измерено. Измерив его сопротивление при другой температуре, определяют ее по формуле:

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot 0,004} + t_1, \quad (24)$$

где: t_1 — температура, при которой известно сопротивление детектора,
 t_2 — измеряемая температура,
 R_1 — сопротивление детектора, измеренное при температуре t_1 ,
 R_2 — сопротивление детектора, измеренное при температуре, которую мы определяем,

0,004 — температурный коэффициент меди. Если детектор из другого металла, то нужно брать температурный коэффициент этого металла.

Условно называют: t_1 — температура в холодном состоянии, t_2 — температура в горячем состоянии, R_1 — сопротивление в холодном состоянии и R_2 — сопротивление в горячем состоянии. Если R_2 меньше, чем R_1 , то и t_2 меньше, чем t_1 , иначе говоря, детектор не нагрет, а охлажден по сравнению с температурой t_1 .

Формула (24) точна, если $t_1 = 15^\circ$. При других значениях температуры следует применять более точную и рекомендованную ЭПН формулу:

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (234,5 + t_1) + t_1. \quad (25)$$

Ток, проходящий по детектору во время измерения его сопротивления, нагревает детектор, поэтому его температура выше температуры того места, где он заложен, и мы имеем преувеличенное показание. Для того, чтобы ошибка была возможно меньше, ток в детекторе должен быть также возможно меньше (миллиамперы); удобнее всего производить измерение мостиком Уитстона.

Измерение температуры обмоток по сопротивлению основано на том же принципе, что и измерение температуры детекторами сопротивления, но здесь измеряется сопротивление не детектора, а самой обмотки. Для этой цели обмотка питается постоянным током, в ее цепи имеется амперметр, а к ее концам присоединен вольтметр. По напряжению и току определяется сопротивление, а по сопротивлению с помощью формул (21)—(25), температура. Предварительно необходимо измерить сопротивление обмотки, когда ее температура известна (например до пуска машины). При измерении сопротивления необходимо строго соблюдать правила, изло-

женные выше об измерении сопротивления; в особенности важно пользоваться одними и теми же приборами при измерении в холодном и горячем состоянии. Помимо того, при измерении сопротивления обмоток с очень малым сопротивлением, необходимо измерять напряжения только в самой обмотке. На рис. 33 показано правильное и неправильное присоединение вольтметра. При неправильном присоединении вольтметр измеряет падение напряжения в переходном сопротивлении между шинами. При измерении сопротивления роторов машин необходимо вольтметр присоединять к кольцам (коллектору), а не к bracketам или выводам, так как в последнем случае в измеренное сопротивление войдет сопротивление щеток и переходное сопротивление между ними и кольцами (коллектором), что совершенно исказит результаты измерений

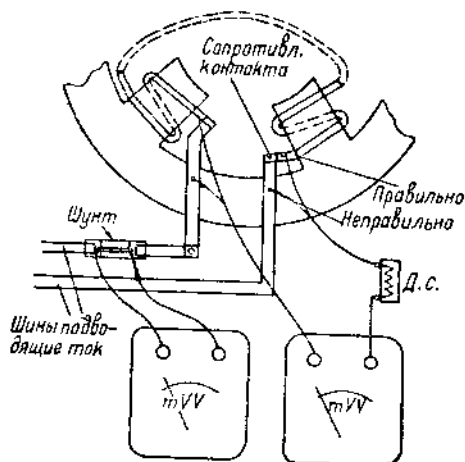


Рис. 33. Измерение сопротивления обмотки.

(вычисленная температура получается на много преувеличенной). Для снятия напряжения с колец, необходимо иметь специальные щетки, укрепленные в изолирующих рукоятках. Щетки желательно иметь из медной фольги или пряди. Во время измерения щетки, касаясь колец, не должны касаться щеток или bracketов испытуемой машины.

Способ измерения температуры по сопротивлению очень удобен для тех обмоток, по которым проходит постоянный ток и в которых нет индуктированных э. д. с. (обмотки возбуждения всех машин), так как это дает возможность производить измерение температуры на ходу

машины. Для якорей машин постоянного тока во время вращения этот способ неприменим, так как электродвижущая сила якоря искажает измерение. В неподвижной машине измерение температуры обмотки по сопротивлению можно производить для любого рода обмотки, подводя к ней постоянный ток. Этот ток не должен быть больше 10—15% номинального тока этой обмотки, так как при больших значениях будет то догревать ее и следовательно изменять ее сопротивление. В IV, V, VI, VII главах сказано подробно об измерении сопротивления соответствующих обмоток.

Необходимо сказать, что этот способ измерения температуры дает только ее среднее значение. Отдельные же места обмотки могут иметь температуры выше или ниже определенной указанным способом.

Ниже дается пример подсчета температуры по сопротивлению для определения нагрева ротора турбогенератора 50 000 kW. Сделано было следующее: когда машина стояла продолжительное время, можно было считать, что обмотка ротора имеет температуру воздуха внутри машины; была измерена эта температура и сопротивление ротора по способу амперметра и вольтметра при питании от аккумулятора. Температура оказалась равной 25°, а сопротивление 0,22 Ω . На ходу машины при

нагрузке 10 000 kW и токе возбуждения 356,5 А напряжение на кольцах оказалось 87,4 В.

Окружающая температура (температура среды $t_{\text{ср}}$) при работе под нагрузкой оказалась 28°.

Первоначально определяем по закону Ома (формула 17) сопротивление ротора в нагретом состоянии (при нагрузке):

$$R_2 = \frac{87,4}{356,5} = 0,245 \, \Omega.$$

Следовательно, имеем:

$$R_2 = 0,245 \, \Omega; \quad R_1 = 0,22 \, \Omega$$

$$t_1 = 25^\circ \text{C}.$$

Температура обмотки ротора определится по формуле (25):

$$t_2 = \frac{0,245 - 0,22}{0,22} (234,5 + 25) + 25 = \frac{0,025}{0,22} 259,5 + 25 = 54,4^\circ \text{C}.$$

Перегрев обмотки относительно окружающей среды составляет:

$$\Delta t = 54,4 - 28 = 26,4^\circ \text{C}.$$

Ниже даются наиболее удобные, как показала практика, способы измерения температуры для различных мест машины.

Железо. Температура обычно измеряется в активном железе машин переменного тока, в спинке и зубцах его. Наиболее удобный способ — термодпары, закладываемые до или после сборки машины. Способы закладки указаны в III главе. Гораздо реже применяются термометры. Неудобство — в трудности крепления термометра и малой доступности для отсчета.

Обмотки. Температура обмотки возбуждения синхронных машин измеряется исключительно по сопротивлению, так как она вращается, поэтому другие способы здесь неприменимы. Температура обмоток возбуждения машин постоянного тока, помимо сопротивления, определяется иногда по термометру. Если разница по температуре, измеренной по сопротивлению и термометром, очень большая (2 раза), это означает, что внутренние слои обмотки сильно перегреваются. Температура обмотки якоря постоянного тока измеряется только после остановки по сопротивлению и термометром. Температура обмоток переменного тока измеряется детекторами и термодпарами, укрепленными на ней, и по сопротивлению после остановки (см. главу VI, VII).

Масло. Температура входящего и выходящего масла измеряется преимущественно термометрами, поставленными на входе и выходе масла. Шарик со ртутью должен быть в середине струи масла (не касаться стенок трубы, по которой течет масло). На входе в трубу маслопровода должна быть вварена трубка с доньшком, в которую наливается ртуть (для лучшей теплопередачи), в нее вставляется термометр. Иногда имеются термодпары, залитые в тело вкладыша. Они позволяют измерять непосредственно его температуру.

Воздух. Температура воздуха измеряется термометрами или термодпарами; и те и другие подвешиваются и растягиваются на бечевке или крепятся на деревянных рейках, в свою очередь надежно укреплен-

ных в машине. В случае большого сечения воздухопровода (турбогенераторы), следует подвешивать термометры или термопары в нескольких точках этого сечения, и за температуру воздуха считать среднюю температуру, показанную термометрами или термопарами.

Способ этот упрощается, если пользоваться термопарами и поступить следующим образом: спая термопар разместить равномерно по сечению струи воздуха, а все свободные медные концы соединить между собой и константовые между собой (термопара медь—константан). Присоединив эти два конца, как обычно, к милливольтметру, будем измерять среднюю температуру струи воздуха. Такая термопара, составленная из нескольких, называется батареей термопар.

Для того, чтобы подобное измерение было достаточно точным, необходимо иметь сопротивление термопар не очень малым (порядка 20 Ω). Кроме того, сопротивления отдельных термопар должны быть равны между собой (термопары одинаковой длины). При пользовании формулами (21)—(22) необходимо сопротивление (r) разделить на число термопар.

Температура воздуха измеряется преимущественно у машин с принудительным охлаждением, главным образом в турбогенераторах. Место измерений: на входе и выходе воздуха и в зазоре, с помощью специальных „штыков“, закладка и крепление которых описаны в III главе.

§ 16. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ.

Для измерения частоты переменного тока служит частотомер. Принцип его работы основан на так называемом резонансе. Если стальную пластинку определенных размеров закрепить одним концом, другой оттянуть и отпустить его, то пластинка будет колебаться со строго определенной частотой (числом колебаний в секунду). При измерении размеров или веса пластинки изменится частота этих (собственных) колебаний. Если ее поместить в магнитное поле электромагнита, по которому проходит ток такой же частоты, как и частота собственных колебаний пластинки, то она начнет колебаться сама. В частотомере имеется электромагнит, в магнитном поле которого расположено железное ярмо, связанное жестко с одним или двумя рядами пластинок, причем каждая из них имеет частоту собственных колебаний на половину периода (одно колебание) меньше, чем предыдущая. При каждой частоте тока сильно колеблется определенная пластинка и слабо — находящиеся от нее справа и слева, остальные остаются неподвижными. На рис. 34 показано устройство частотомера. На шкале против каждой пластинки имеется черта, обозначающая частоту. Такая система обозначается значком, показанным в приложении 2.

Частотомеры измеряют частоту от 15 периодов до 130. Переносный частотомер Сименс-Гальске имеет один ряд язычков и 2 ряда цифр: белые от 44 до 56 и красные от 22 до 28. По первой шкале одно деление соответствует половине периода, а по второй — четверти. Сверху имеются три клеммы и два переключателя. Одна клемма общая, вторая для присоединения к цепи с напряжением не выше 120 В и третья не выше 155 В. Один переключатель имеет два положения: при первом следует вести отсчеты по шкале 22—28, при втором — по шкале 44—56. Второй переключатель имеет плавное движение и служит для регу-

лировки амплитуды колебаний (размаха) язычков. Частотомер включается в сеть, как вольтметр. Если напряжение сети выше 155 В, его нужно включить через потенциометр или трансформатор напряжения. В качестве потенциометра наиболее удобен рустатовский реостат высокого сопротивления. Если прибор ничего не показывает, причина может быть двоякая—или недостаточное напряжение, или же измеряемая частота находится вне предела измерения частотомера; то и другое нужно проверить.

На частотомере каждому делению шкалы (против язычка) соответствует половина периода, но возможно отсчитывать и четверть периода¹⁾. Это будет в том случае, если два рядом лежащих язычка

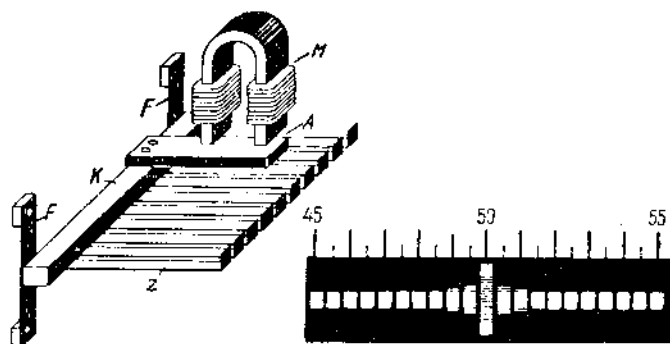


Рис. 34. Устройство частотомера.

колеблются с почти равными амплитудами. Если, например, колеблются язычки, показывающие 49,5 и 50 периодов, то частота 49,75 периодов в секунду (или герц).

При отсутствии частотомера возможно измерять частоту, если есть доступ к генератору, от которого получается ток. Нужно знать число пар полюсов машины, измерить обороты, умножить одно на другое и разделить на 60. Формула для этого:

$$f = \frac{pn}{60}, \quad (26)$$

где: f — частота,

p — число пар полюсов,

n — число оборотов в минуту.

Пример: число полюсов 6, т. е. число пар 3, число оборотов 900.

Частота: $f = \frac{3 \times 900}{60} = 45$ герц (периодов в сек.).

Некоторые частотомеры имеют две шкалы для одновременного измерения частоты двух цепей.

Иногда на шкале обозначаются не периоды, а число перемен направления тока, которое вдвое больше; в этом случае частоте 50 периодов на шкале соответствует цифра 100.

¹⁾ И даже, при некотором навыке, десятые доли.

§ 17. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ.

Это измерение необходимо при испытаниях электрических машин: для измерения скольжения, при снятии кривых выбега, осциллографировании и т. п. Производится оно секундомером. Нажимая кнопку, пускаем секундомер в ход, нажимая вторично, останавливаем стрелку на месте, нажимая в третий раз, возвращаем ее на нуль. На циферблате имеется второй маленький циферблат со стрелкой, указывающей минуты, в то время как большая отсчитывает секунды. Кнопку необходимо нажимать моментально, при пуске и остановке, в этом собственно и заключается умение пользоваться секундомером.

§ 18. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ.

Для измерения скорости вращения служит прибор, называемый тахометром. Устройство его заключается в следующем: внутри прибора имеются на оси пружинки с прикрепленными к ним грузиками; при вращении грузики под действием центробежной силы выгибают пружинки, а эти последние, с помощью специального устройства, приводят в движение стрелку. Чем больше скорость вращения, тем сильнее отгибаются пружинки и тем больше показание прибора.

Чтобы показания были верны, нужно держать тахометр горизонтально; оси вала и шпинделя тахометра должны совпадать. Для определения горизонтального положения на тахометре имеется уровень. Перекос же влево или вправо виден глазом. Прижимать не слишком слабо и не слишком сильно. На наконечник и в центр вала не должно попадать масло. Не следует держать тахометр без нужды включенным.

Если вал имеет отверстие по оси (турбогенераторы), нужно забить в него деревянную пробку и на ходу сделать в ней центр — стамеской или ножом. К тахометру имеются различные наконечники и удлинитель. Назначение их ясно из их форм. Наконечник в виде диска служит для измерения линейной скорости, например, скорости ремня. Для этой цели его прикладывают накатанным ребром к поверхности, скорость которой измеряют (ремень, шкив и т. п.). Чтобы получить скорость в метрах в минуту, умножают число оборотов, которое показывает тахометр, на 0,1.

Электрический тахометр. В том случае, если нужна непрерывная запись изменения числа оборотов, или во время работы машины находиться возле нее нельзя (например, испытание на разнос), применяются электрические тахометры.

Электрические тахометры представляют собой небольшой генератор постоянного или переменного тока, сцепленный муфточкой с машиной, число оборотов которой измеряют. К этому генератору (постоянного тока) присоединяется нормальный или самозаписывающий вольтметр. Напряжение генератора тем больше, чем больше скорость вращения, соответственно больше и показания вольтметров. Вольтметр градуирован не на вольты, а прямо на обороты. Приборы эти дороги и у нас пока встречаются редко. Однако, в случае необходимости, для этой цели может служить с достаточно большой точностью любая машина постоянного тока с независимым возбуждением от устойчивого напряжения. Если определить ее напряжение (на холостом ходу) для какого-либо числа оборотов, то любое другое число оборотов будет во

столько же раз больше или меньше, во сколько больше или меньше измеренное при нем напряжение. Проще всего построить график. Для этого на листе миллиметровки строим координаты. На горизонтальной оси откладываем вольты, а на вертикальной оси обороты в минуту. Находим из опыта какую-либо точку для нашей машины (напряжение при каком-либо числе оборотов), наносим ее на чертеж, соединяем ее с началом координат и продолжаем ее дальше. Полученная прямая линия дает зависимость между напряжением и оборотами, и по ней находим скорость для любого напряжения, показанного вольтметром. Машина постоянного тока, которая служит для измерения скорости описанным способом (тахометрическая динамо), должна вращаться вхолостую, иначе измерение будет неверно. Важно, чтобы возбуждение ее было независимое от источника тока с постоянным напряжением. При испытании синхронных машин, в качестве такой тахометрической динамо может служить возбудитель, если он сидит на одном валу и не нагружен.

Тахометрические динамо переменного тока основаны на том принципе, что частота их тока пропорциональна скорости вращения. Такую динамо присоединяют к частотомеру, его шкалу градуируют на *об/мин* и по ней в дальнейшем следят за скоростью вращения.

При пользовании тахометрической динамо, необходимо пользоваться всегда теми проводами и приборами, с которыми она градуирована.

Тахометрическая динамо может быть самого малого размера. С помощью тахометрической динамо и секундомера очень удобно строить кривые выбега и нарастания оборотов, о которых см. в главе VII.

Измерение скорости вращения частотомером. Простой способ измерения скорости вращения, но не очень точный, заключается в следующем. В большинстве случаев, работающая машина вибрирует. Если поблизости от нее поставить на место, которому передаются вибрации (стол, фундамент), частотомер, то, если число оборотов близко к 1000, 1500, 3000, 6000, — частотомер будет показывать, не будучи никуда включен. Происходит это благодаря механическому резонансу между собственной частотой колебаний язычков частотомера и частотой вибраций. Считать число оборотов можно, пользуясь таблицей.

Число <i>об/мин</i> около	Одному пе- риоду соот- ветствует <i>об/мин</i>	45 периодам соответ- ствует <i>об/мин</i>	50 периодам соответ- ствует <i>об/мин</i>	55 периодам соответ- ствует <i>об/мин</i>
1000	20	900	1000	1100
1500	30	1350	1500	1650
2000	40	1800	2000	2200
3000	60	2700	3000	3300
6000	120	5400	6000	6600

Скорость вращения синхронных машин можно определять по показаниям нормально включенного частотомера, согласно формуле (26).

Измерение скорости вращения секундомером. Скорость вращения медленно вращающейся машины можно измерять с помощью секундомера. Для этого замечают какие-либо выделяющиеся точки на вращающихся и неподвижных частях машины (можно сделать метки мелом),

что дает возможность видеть каждый оборот машины. Пускают секундомер и одновременно начинают отсчитывать обороты. Чтобы получить скорость вращения, нужно разделить число подсчитанных оборотов на число секунд, в течение которых они отсчитаны, и полученное умножить на 60. Отсчет нужно начинать, когда отмеченные точки приходят друг против друга, и в этот момент делать отсчет: нуль, — при следующем совпадении: раз, затем: два и т. д. Часто ошибка заключается в том, что первое совпадение отмеченных точек отсчитывают: раз, следующее: два и т. д. При этом отсчитанное число оборотов оказывается на один больше действительного, при малой скорости вращения это дает большую ошибку.

Этим способом можно измерять скорость вращения до 250 об/мин.

§ 19. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АППАРАТУРА.

Нагрев машины тем меньше, чем лучше ее охлаждение или, как говорят иначе, вентиляция. Поэтому, улучшая вентиляцию, мы можем увеличить мощность машины. Как правило, электрические машины охлаждаются воздухом.

Систем вентиляции существует несколько. ОСТ 3886 определяет:

Г. Номенклатура и классификация электрических машин по способу охлаждения.

§ 1. Машиной с естественным охлаждением называется машина, которая не имеет никаких специальных приспособлений для охлаждения.

§ 2. Машиной с самовентиляцией называется машина, охлаждение активных частей которой достигается вентилятором или каким-нибудь специальным приспособлением, составляющим с вращающейся частью машины одно целое.

§ 3. Машиной с наружной самовентиляцией называется машина, внешняя поверхность которой охлаждается путем самовентиляции, а активные части закрыты для доступа внешнего воздуха.

§ 4. Машиной с посторонним охлаждением называется машина, в которой охлаждающая среда (газообразная или жидкая) подается специальным приспособлением (вентилятором или насосом), помещенным вне машины.

Естественное охлаждение применяется, главным образом, для тихоходных машин.

Самовентиляция применяется для быстроходных негерметически закрытых машин.

Наружная самовентиляция применяется для герметически закрытых машин (двигатели для шахт и т. п.)

Помимо того, машины, предназначенные для работы в пыльном или влажном воздухе, имеют замкнутый цикл вентиляции. Для этой цели выходящий из машины горячий воздух поступает в специальную камеру, где имеется радиатор (система трубок), внутри которых протекает вода. Воздух, омывая наружные стенки радиатора, отдает им тепло и выходит в другую камеру, откуда снова поступает в машину. Таким образом, воздух снаружи в машину не поступает, а значит не попадает вместе с ним пыль и влага, что является большим преимуществом.

Замкнутый цикл вентиляции применяется главным образом для турбогенераторов.

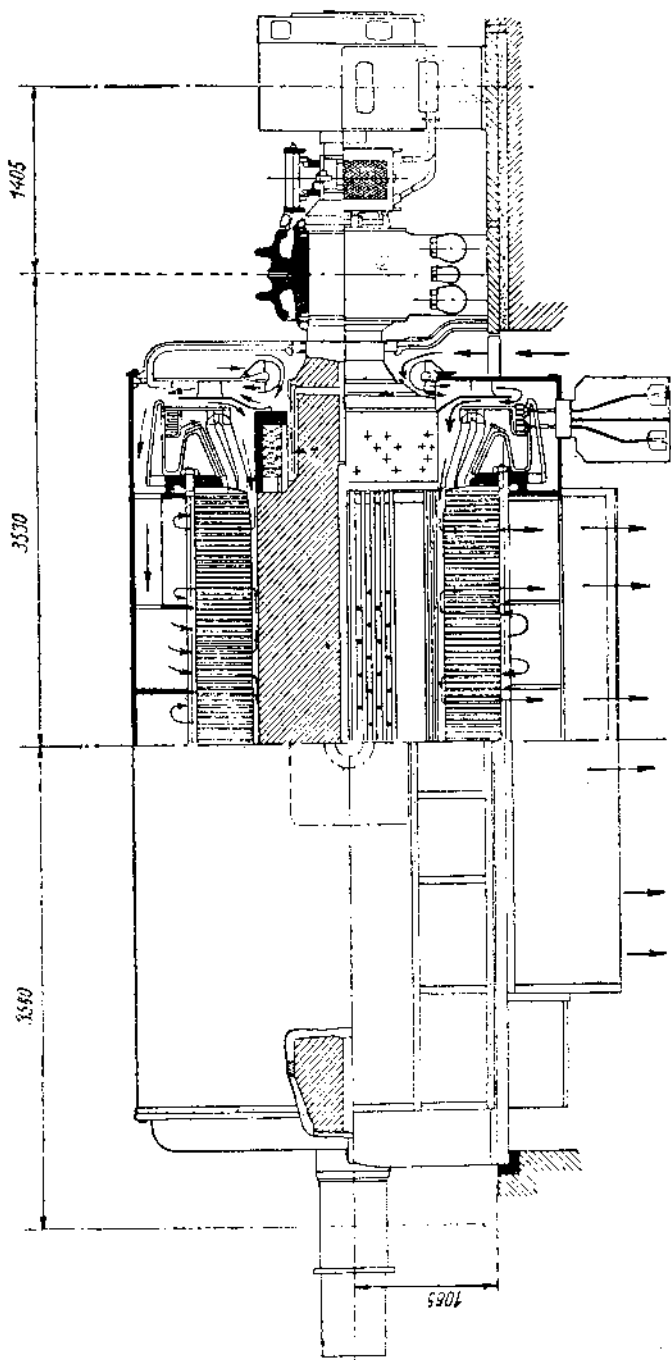


Рис. 35. Система охлаждения турбогенератора.
Направление воздуха указано стрелками.

В турбогенераторах система вентиляции достигает предельной сложности, так как в них в малых объемах выделяются значительные количества тепла. На рис. 35 показана система вентиляции турбогенератора завода „Электросила“ имени Кирова.

При исследовании вентиляции определяют количество воздуха, прошедшего через машину, и разность температур вошедшего и вышедшего воздуха.

Определение расхода воздуха. Если мы имеем трубу сечением 1 м^2 , по которой протекает воздух, и скорость движения этого последнего 1 м/сек , то через эту трубу за 1 секунду проходит 1 м^3 воздуха. Общая формула для подсчета расхода воздуха такова:

$$V = S \cdot v, \quad (27)$$

где: V — объем воздуха в м^3 ,

S — сечение воздухопровода в м^2 ,

v — средняя скорость воздуха в метрах в секунду (м/сек).

Площадь сечения воздухопровода подсчитывается:

1. В случае прямоугольного сечения по формуле:

$$S = a \cdot b, \quad (28)$$

где: S — площадь сечения в м^2 ,

a, b — стороны прямоугольника в метрах.

2. В случае круглого сечения по формуле:

$$S = 0,786 D^2, \quad (29)$$

где: S — площадь сечения в м^2 ,

D — диаметр сечения в м .

Скорость воздуха определяется или анемометром, или трубкой Пито.



Рис. 36. Анемометр.

Анемометр показан на рис. 36 и представляет собой небольшую турбинку, вращающуюся от движения струи воздуха, скорость которой подлежит измерению. Ось турбинки соединена через червяк и шестеренки со стрелками. Каждая стрелка имеет свой циферблат, имеющий деления и обозначение цены делений. При движении воздуха на каждый метр его перемещения приходится определенное число оборотов турбинки. Стрелки показывают это число метров. На корпусе анемометра имеется рычажок, с помощью которого можно расцепить или сцепить червяк с шестеренками. При расцепленном червяке анемометр вращается, но стрелки не двигаются. Помимо того, на корпусе иногда имеется кнопка, нажав которую — можно поставить все стрелки на нуль. Для того чтобы определить скорость воздуха, необходимо, кроме

анемометра, иметь секундомер. Анемометр нужно поставить в струю воздуха так, чтобы струя воздуха была направлена перпендикулярно лопаткам турбинки. Предварительно нужно или поставить стрелки на нуль, или записать показания анемометра. Анемометр и секундомер пускают одновременно и через некоторый промежуток времени одновременно останавливают. Если, например, за 15 секунд анемометр показал 450 м, то скорость будет равна

$$v = 450 : 15 = 30 \text{ м/сек.}$$

Анемометр — чрезвычайно нежный прибор и требует исключительно осторожного обращения. Прикосновение к лопаткам или оси турбинки совершенно недопустимо. По истечении некоторого промежутка времени анемометр по разным причинам может начать давать неправильные показания. Поэтому требуется частая его проверка (градуировка). При

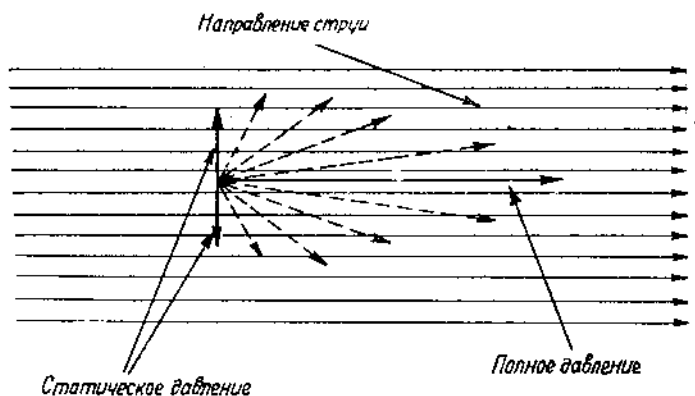


Рис. 37. Распределение давлений в струе воздуха.

измерении скорости воздуха анемометр нужно держать на какой-либо тонкой ручке. Руки работника, производящего измерение, не должны находиться в струе воздуха, так как воздух, ударяясь о них, меняет свое направление и может исказить измерения.

Трубка Пито. Во всякой точке струи движущегося газа (и жидкости) существует два давления: большее по направлению движения газа и меньшее, перпендикулярное к нему. На рис. 37 эти давления показаны сплошными стрелками. Во всех других направлениях между этими двумя давлениями будут плавно уменьшаться; они показаны пунктирными линиями. Давление по направлению движения называется полным давлением и обозначается h_n . Перпендикулярное к направлению движения давление называется статическим и обозначается h_c ¹⁾, а разность между этими двумя давлениями называется динамическим давлением и обозначается h_d .

¹⁾ Здесь подразумевается так называемое избыточное давление, т. е. превышение над давлением атмосферы.

Если имеется возможность измерить эти давления, то, зная их, можно считать скорость воздуха по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{2g h_d}{\gamma}}, \quad (30)$$

где: v — скорость воздуха в м/сек,

g — 9,81 м/сек²,

h_d — динамическое давление в миллиметрах водяного столба,

γ — удельный вес воздуха в кг/м³.

Если измерение производится спиртовым манометром, то необходимо пересчитать давление в миллиметрах спиртового столба на давление водяного столба. Для этого нужно умножить давление, измеренное спиртовым манометром, на 0,81, так как удельный вес спирта 0,81.

Удельный вес в формуле (30) берется в килограммах на кубический метр, и величина эта равна 1,2 кг/м³ при атмосферном давлении 760 мм ртутного столба и температуре воздуха 20° С.

Следует помнить, что удельный вес воздуха зависит от температуры и давления [для формулы (30): атмосферное давление + h_c] и определяется по формуле:

$$\gamma_1 = 1,2 \frac{b}{760} \cdot \frac{293}{273 + t_1}, \quad (31)$$

где: γ_1 — удельный вес воздуха при температуре t_1 ,

t_1 — температура воздуха при измерении его скорости,

b — давление (атмосферное + h_c) в мм ртутного столба при температуре t_1 .

Пример подсчета. Определить скорость воздуха, если измерено его динамическое давление h_d , оказавшееся равным 160 мм спиртового столба, статическое h_c — 50 мм спиртового столба, температура измеряемой струи воздуха 45° С и атмосферное давление 765 мм ртутного столба.

Скорость воздуха определяется по формуле (30). Предварительно необходимо пересчитать давление h_d спиртового столба на давление водяного столба, как о том сказано выше:

$$h_d = 160 \times 0,81 = 129,8 \text{ мм.}$$

Удельный вес воздуха определится по формуле (31). Предварительно определяется b . Это давление, как было сказано, равно сумме атмосферного и h_c , но так как первое измеряется в мм ртутного столба, то и второе (h_c) нужно привести к мм ртутного столба. Зная удельный вес спирта — 0,81 и ртути — 13,6, делаем это:

$$h_c = 50 \frac{0,81}{13,6} = 3 \text{ мм ртутного столба.}$$

Следовательно:

$$b = 765 + 3 = 768.$$

И согласно формуле (31):

$$\gamma_1 = 1,2 \times \frac{768}{760} \times \frac{293}{273 + 45} = 1,12.$$

И скорость воздуха согласно формуле (30):

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 129,8}{1,12}} = 47,8 \text{ м/сек.}$$

Трубка Пито показана на рис. 38 и представляет собой цилиндр со сферической поверхностью с одного конца. В центре этой сферы имеется отверстие канала, идущего по оси цилиндра. Второй канал выходит своим концом на боковую поверхность цилиндра. Оба канала переходят в вертикальную часть трубки и оканчиваются снаружи наконечниками (штуцерами) для надевания резиновых трубок. Если горизонтальная часть трубки находится в струе воздуха точно против направления его движения, как это показано на рис. 38, то отверстие

в центре сферической поверхности трубки воспринимает полное давление, а отверстие на боковой поверхности — статическое давление. Измерение этих давлений производится спиртовыми манометрами, описанными ниже.

Если оба канала присоединить к манометру по способу дифференциального включения, то манометр покажет разность полного и статического давления, т. е. динамическое давление, по которому с помощью формулы (30) подсчитывается скорость воздуха. Если нужно одновременно измерять все три давления, то для динамического и статического берется ответвление, как показано на рис. 39.

Спиртовый манометр показан на рис. 40¹⁾. Резервуар манометра заливается спиртом и если манометр ни с чем не соединен, то спирт в стеклянной трубке находится на уровне спирта в резервуаре. Если же резервуар соединить через штуцер с помощью резиновой или металлической трубки с какой-либо средой, где давление больше окружающего манометр, то спирт в стеклянной трубке поднимается до определенного уровня, при котором давление столба спирта уравновешивает давление воздуха в резервуаре. На

шкале, имеющейся рядом с трубкой, или на ней самой нанесены миллиметры. Один миллиметр спиртового столба соответствует давлению 0,081 грамма на квадратный сантиметр. Давление отсчитывается в миллиметрах спиртового столба и пересчитывается на давление водяного столба, как о том говорилось выше.

Другой вид спиртового манометра, который очень легко изготовить, показан на рис. 41. Здесь резервуаром служит одно колено стеклянной трубки. Поэтому при измерении уровень спирта в одном колене поднимается, а в другом опускается, а давление нужно измерять разностью уровней. Если за нуль считать уровень, когда этот манометр не приключен никуда (пунктирная линия), то давление, показываемое одним коленом, нужно умножать на 2.

Если манометр присоединен к среде, давление которой меньше давления воздуха, окружающего манометр, то в манометре спирт уйдет из стеклянной трубки в резервуар или опустится ниже нуля. Если же

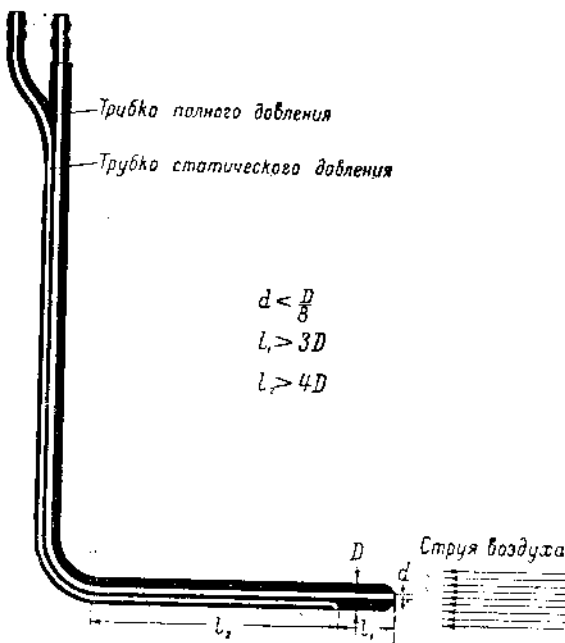


Рис. 38. Трубка Пито.

¹⁾ Показан так называемый микроманометр (см. ниже).

манометр в виде колена, то спирт будет подниматься в колене, которое служит резервуаром. В этом случае (для обоих видов манометра) надо среду с меньшим давлением соединить не с резервуаром, а со стеклянной трубкой, у которой имеется шкала. Манометр будет опять показывать правильно, но нужно помнить, что он измеряет не давление, а разрежение, и показания его нужно брать со знаком минус.

Если давления очень малы, то их измеряют **микроманометром**, т. е. таким же манометром с тем отличием, что у него измерительная трубка не вертикальная, а наклонная (рис. 40). Для того, чтобы получить давление, нужно показание манометра умножить на коэффициент в зависимости от угла наклона.

Эту зависимость можно получить из таблички.

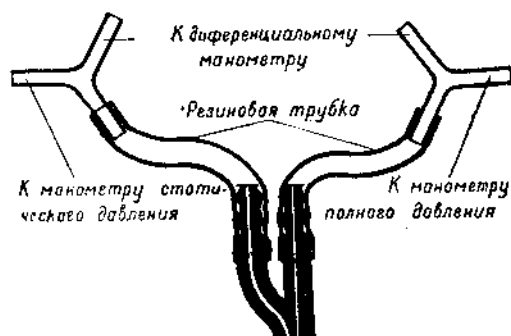


Рис. 39. Распределительные тройники.

Угол наклона указательной трубки	Коэффициент для манометра
30°	0,5
14°29'	0,25
7°11'	0,125

Микроманометры могут поворачиваться во все три положения табл. 6 и имеют специальное приспособление, которое удерживает

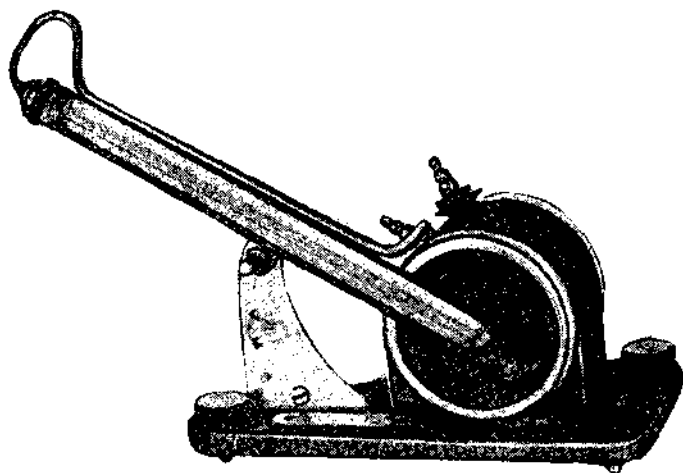


Рис. 40. Микроманометр.

их в каждом из положений. Микроманометры, сделанные из стеклянных трубок, должны крепиться на деревянных подставках, имеющих какой-либо определенный угол. Микроманометры имеют два водяных уровня для строгой горизонтальной установки подставки, на которой смонтирован микроманометр; при недостаточно правильном горизонтальном

положении подставки, угол между горизонтальной плоскостью измерительной трубкой будет отличаться от приведенного, и показания будут неверны.

Иногда давление, подводимое к манометру, может резко увеличиться, и спирт может быть выброшен из манометра. В случае такой возможности, удобен манометр, изображенный на рис. 42, он имеет в верхней части шар, в который попадает выброшенный спирт, стекающий затем обратно в манометр.

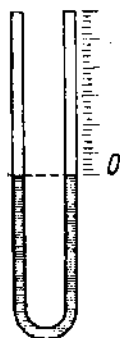


Рис. 41.
Манометр.

Если любой из описанных манометров присоединить резервуаром к среде с одной величиной давления, а измерительную трубку к среде с другой величиной давления, то показания манометра будут равны разности давлений. Манометр при таком включении называется **дифференциальным манометром**, а способ включения — **дифференциальным включением**.

Общие правила работы с вентиляционной аппаратурой таковы: подставка манометров, и в особенности микроманометров, должна устанавливаться горизонтально. Спирт должен быть налит правильно до нуля. Трубка Пито должна в момент отсчета находиться строго против

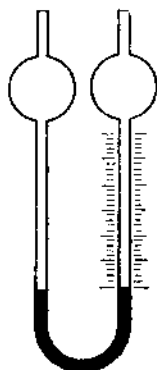


Рис. 42.
Манометр.

направления движения струи воздуха, для этого отсчет нужно делать, когда найдено такое положение трубки Пито, при котором дифференциальный манометр дает наибольшее показание. Так как обычно давление неустойчиво, нужно для каждой точки измерений делать несколько отсчетов (4—8), и брать среднее значение. Так как скорость воздуха не по всему сечению воздухопровода одинакова, а нас обычно интересует средняя скорость, то нужно сечение воздухопровода разбить на равные части и, сделав замеры во всех частях, взять среднее значение. Разбить воздухопровод на равные части можно мысленно, а лучше тонкой стальной проволокой, если это удобно сделать. Если скорость измеряется анемометром, то на всех частях нужно его держать равные промежутки времени. При работе с трубкой Пито и манометрами необходимо перед началом работы проверить целостность резиновых трубок и плотность посадки на штуцерах, если где-либо в измерительной цепи будет утечка воздуха, измерения будут искажены. Проверить резиновую трубку можно, если присоединить ее одним концом к манометру, надуть через другой конец, чтобы манометр показал значительное давление и, перегнув этот конец, зажать его, чтобы воздух из манометра не мог выходить. Подождать 2—3 минуты, и если трубка нигде не пропускает, то манометр будет держать давление, в противном случае давление будет падать. Во время измерений необходимо следить, чтобы спирт из манометра не попал в резиновые трубки или трубки Пито. Если это случится, показания будут также искажены; чтобы исправить положение, необходимо тщательно продуть резиновые трубки и трубку Пито.

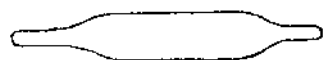


Рис. 43. Соединительная трубочка.

Для соединения резиновых трубок удобно пользоваться стеклян-

ными соединительными штуцерами, показанными на рис. 43; их легко вытянуть на огне из стеклянной трубки.

Трубку Пито необходимо градуировать и при измерениях пользоваться поправочной таблицей. Пространство, в котором помещается трубка, должно быть возможно большего размера по сравнению с диаметром трубки, и во всяком случае не меньше десяти диаметров трубки.

Глава III.

ПОДГОТОВКА МАШИНЫ К ИСПЫТАНИЯМ.

§ 1. УСТАНОВКА МАШИНЫ.

В заводских условиях испытание производится на специальных стандах; при отсутствии таковых — на временных деревянных фундаментах.

Станд представляет собой площадку, сложенную из двутаврового железа. Между каждыми двумя рядом лежащими балками имеется расстояние 35—70 мм, в зависимости от величины

станда. Балки скреплены между собою и заделаны до половины высоты в бетон. Крепящие болты имеют прямоугольную головку. По ширине головки проходит между двумя балками; опустив ее туда, поворачивают болт, и теперь уже его не вынуть, если не повернуть снова. Устройство

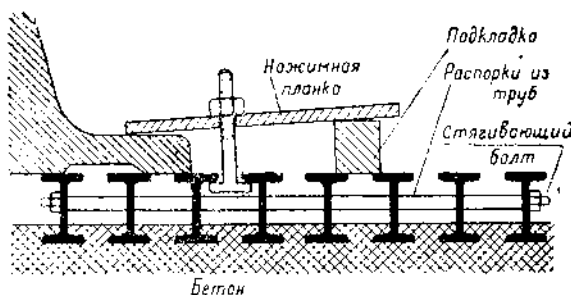


Рис. 44. Разрез станда и крепление машины к станду.

станда показано на рис. 44. Стандарт часто имеет бетонную яму. Назначение ее в том, чтобы ставить на ней машины большого диаметра так, чтобы нижняя половина ее находилась в яме. Если производится испытание на угонную скорость, машину устанавливают на дне ямы, и сверху закрывают яму железными плитами.

У станда расположены распределительные щиты и пульта управления.

При установке на деревянном фундаменте „под ремень“, следует одну машину закрепить наглухо, для другой же предусмотреть возможность передвижения для натяга ремня. Для этого ее нужно крепить на салазках или распереть домкратами.

Установка при соединении ремнем. Ременная передача применяется для машин малой и средней мощности, примерно до 100 kW и не выше 3000 об/мин (за редкими исключениями).

Машины должны быть установлены по следующим правилам:

1. Вал каждой машины должен быть горизонтальным, иначе ротор будет набегать на один из подшипников.

2. Оба вала должны быть строго параллельны, иначе роторы будут также набегать на подшипники, и, кроме того, ремень будет соскакивать.

3. Середина одного шкива должна совпадать с серединой другого, иначе ремень на ведомом шкиве будет идти по краю.

4. Шкивы должны быть хорошо центрированы и балансированы.

5. Расстояние между шкивами должно быть не менее утроенного диаметра большего шкива, но не больше 10 метров и, как крайний предел, 18 метров.

6. Отношение диаметров шкивов не должно быть больше, чем 5:1.

7. Диаметр шкива должен быть, по крайней мере, в 100 раз больше толщины ремня.

8. Ведущей стороной ремня должна быть нижняя.

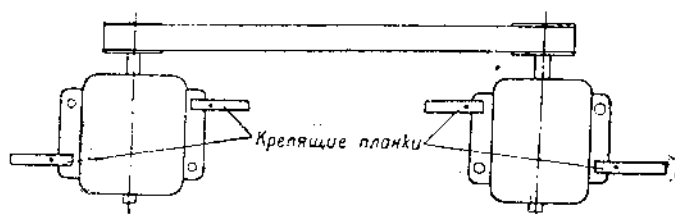


Рис. 45. Расположение крепящих планок.

Обычно одна машина укрепляется непосредственно и наглухо на станде, другая же ставится на салазки, и последние наглухо крепят к станду; это дает возможность регулировать взаимное положение машин и натяг ремня.

Крепление осуществляется болтами, о которых говорилось выше.

Головка, как уже говорилось, вставляется между балками станда и поворачивается. Сверху надевается толстая железная планка с отверстием на расстоянии одной трети длины от одного конца. Этим концом планку нужно положить на лапу машины, а под другой конец подкладывается какой-нибудь брусок железа немного выше, чем лапа; этим обеспечивается достаточно сильный нажим на середину лапы. Гайкой планка прижимается к машине.

Если планку положить на машину длинным концом, то машина будет прижата слабее.

Машины свыше 15 kW нужно прижать за все четыре лапы: машины до 15 kW достаточно прижать только двумя лапами, причем расположены они должны быть, как на рисунке 45, т. е. одна нажимная планка прижимает лапу со стороны шкива и на стороне, обращенной к другой машине, а вторая — лапу, расположенную по диагонали.

Выверка вала машины по горизонтали производится с помощью уровня, имеющего снизу выемку по длине. Уровень нужно положить на вал или (что хуже) на шкив: если машина стоит неверно, то надо подложить под две лапы листовое железо и прижать машину. Подкладывать нужно до тех пор, пока уровень будет показывать правильно. У машин со скользящими подшипниками можно проверить установку, пустив машину вхолостую: при правильной установке ротор, имея разбег, не будет набегать на какой-либо из подшипников, и его легко

подвинуть с обеих сторон, нажимая деревяшкой на торец. При этом следует иметь в виду, что ротор может набегать на подшипник из-за того, что статор машины сдвинут в сторону этого подшипника.

Устанавливать машины можно по ремню или по нити. Первый способ удобен для мелких машин и машин, установленных на салазках. Второй удобен для крупных машин, которые трудно передвигать.

Установка по ремню. Если машины установлены правильно, то при их вращении середина ремня будет идти по середине шкивов.

В случае неверной установки — по положению ремня на ведомом шкиве можно сразу сказать, в каком направлении скошена ось ведомой машины относительно ведущей. На рис. 46 показаны случаи неправильного положения машины, и стрелками указаны направления, в которых ее нужно сдвигать.

При передвижении машины натяг ремня может ослабеть, в этом случае нужно машины немного раздвинуть (по направлению ремня). Для того чтобы машину подвинуть, не снимая ремня, достаточно отпустить крепящие к стану болты настолько, чтобы натянутый ремень не мог сдвинуть ее, и, ударя свинцовой кувалдой по лапам, сдвигать ее в нужном направлении.

Если установка верна, то машины, обладающие разбегом, должны иметь его на ходу одинаковым у обеих подшипников. Если же ротор набегает на один из подшипников, причиной может быть неверная установка. Это часто бывает при выпуклых шкивах. Ремень, несмотря на то, что одет на шкивах верно, все же тянет ротор в сторону подшипника, на котором сидит ротор. В эту же сторону необходимо подвинуть машину, чтобы создать правильный разбег.

Установка по нити. Первоначально устанавливают машины грубо, с помощью ремня, главным образом, чтобы определить расстояние между ними. Затем привязывают нить поблизости к шкиву той машины, у которой он шире, и из положения, показанного на рис. 47 пунктиром, переводят нить в положение, показанное жирной линией, пока она не коснется другого края шкива, и в таком положении (сильно натянутой) ее закрепляют за какой-либо предмет на стане. После этого вторую машину регулируют так, чтобы расстояния от обоих краев ее шкива до нити были бы одинаковы. Чтобы знать это расстояние, нужно из ширины большего шкива вычесть ширину меньшего и разделить полученное пополам.

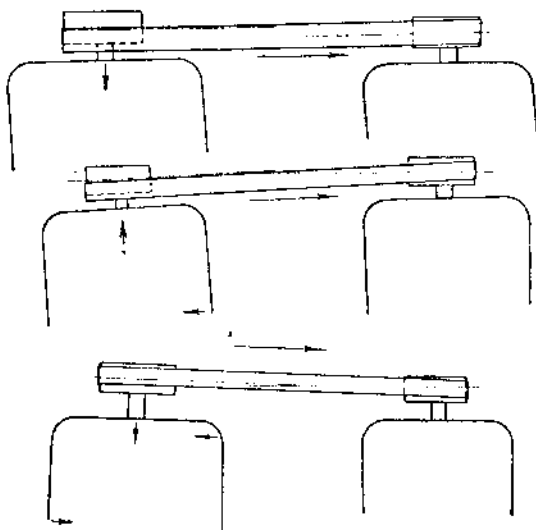


Рис. 46. Неправильное расположение машин. Стрелками показано направление, в котором нужно сдвигать машины.

Надевать ремень следует сначала на меньший шкив, и, надев его краем на больший, тянуть. При вращении шкивов ремень набегает на второй шкив. Снимать следует с большого; тянуть ремень так, чтобы

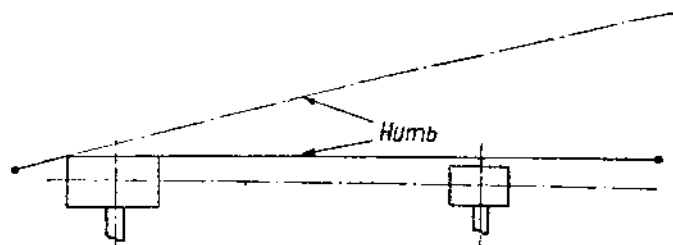


Рис. 47. Установка по нити.

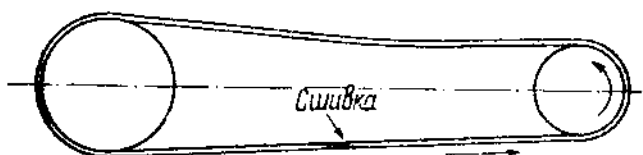


Рис. 48. Правильное направление движения сшивки.

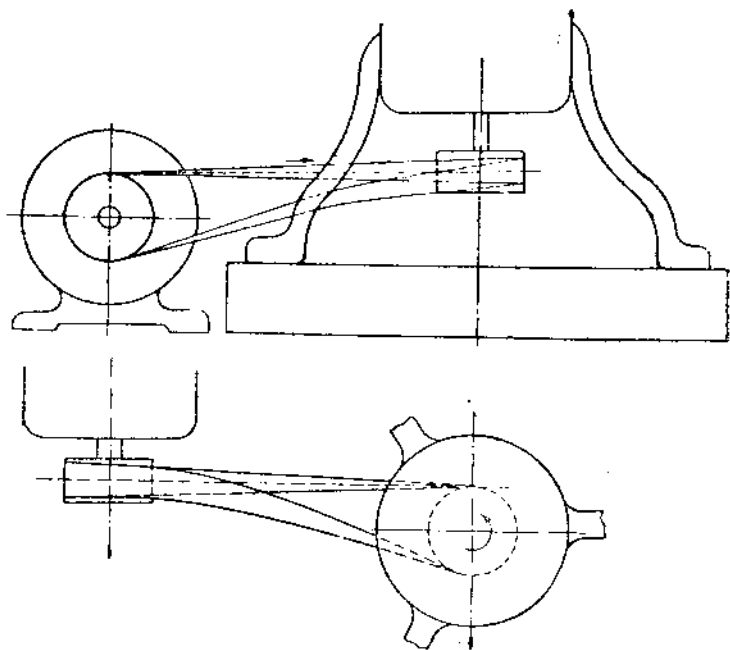


Рис. 49. Полуперекрестная передача.

шкивы вращались, и одновременно стягивать его в сторону. Большие ремни надевать и снимать приходится вдвоем или втроем.

Сшитым местом ремень должен идти по ходу машины, как показано на рис. 48.

Если расстояние между машинами невелико, не более пятикратного диаметра шкивов, то ремень должен быть сильно натянут.

Натяг ремня определяют рукой, нажимая на его середину: при этом он должен сильно пружинить; соответствующий навык приобретается опытом.

Если же расстояние больше указанного, то нужно дать провес верхней половине ремня, причем ведущей при работе машины должна быть нижняя половина. Этим достигается то, что ремень охватывает большую поверхность шкивов (рис. 48).

Установка вертикальной машины (полу-перекрестная передача) несколько сложнее. На рис. 49 дана схема такой установки. Принцип правильной установки заключается в том, что набегать ремень должен не изгибаясь по направлению ширины, а только перекручиваясь на 90° . При этом сбегает ремень со шкива в сторону. Если дать обратный ход, ремень соскочит.

На схеме (рис. 49) пунктиром обозначены линии установки, а сплошной линией ремень. Ремень при переходе с одного шкива на другой перекручивается на 90° . Нижний рисунок дает вид сверху.

Установку нужно производить грубо по ремню и точно по нити. Нить должна приходиться на месте, обозначенном пунктирной линией.

Установка при непосредственном соединении. Непосредственное соединение применяется для машин всех мощностей, но при этом не должно быть большой разницы между их номинальными числами оборотов. Соединение осуществляется при помощи муфт.

Муфты бывают нескольких типов. Наиболее употребительны жесткие и полужесткие. В жесткой муфте обе половины („полумуфты“) после посадки на место скрепляются болтами наглухо. В полужестких болты наглухо закрепляются только в одной полумуфте; на выступающие пальцы надеты кожаные кольца, и эти кольца входят в отверстия во второй полумуфте. Пальцы должны быть строго перпендикулярны к торцовой стороне полумуфты, для этого их делают коническими с той стороны, которая закрепляется жестко. Если их пришлось снять (для замены кожи, например), то при установке на месте надо тщательно вытереть от грязи палец и гнездо. Крепящие гайки должны быть заstopорены шплинтами. Обе полумуфты должны быть совершенно одинакового диаметра, лучше всего, если они одновременно обточены на общей оправке.

Более высокую машину нужно установить по горизонтали и закрепить. Под более низкую подложить подкладки из листового железа на

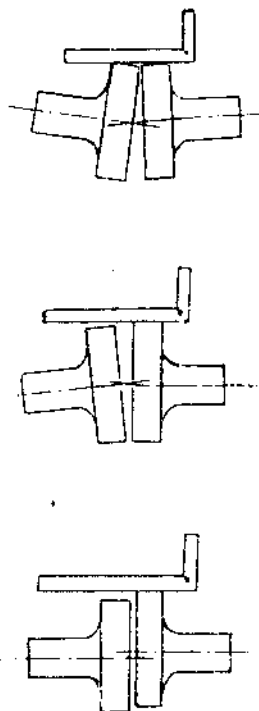


Рис. 50. Выверка полумуфт по линейке.

Столько, чтобы муфты возможно точно были бы на одной высоте и затем подвинуть ее так, чтобы пальцы вошли на свои места. При этом расстояние между машинами должно быть таким, чтобы между торцами полумуфт был небольшой зазор, если оба ротора сдвинуть в сторону муфты. Часто на обеих полумуфтах, на цилиндрической поверхности параллельно оси муфты бывают нанесены риски. Эти риски на собранной муфте должны совпадать и служат для того, чтобы каждый палец попадал на свое место. Затянув болты, крепящие машины, нужно поставить правильную линейку или угольник на обе полумуфты, как показано на рис. 50.

Линейку нужно поставить сверху и с двух боков. При правильной установке между линейкой и полумуфтами не должно быть зазора. Линейку нужно ставить возможно параллельно валу машины. Зазор, даже самый ничтожный, ясно виден, если смотреть на свет. Для того, чтобы избежать случайной ошибки, нужно иметь правильную линейку (а лучше пользоваться угольником), и поверхность муфт, к которой прикладывается линейка, должна быть гладкой и чистой. Грязь, выбоины и выступы не дают линейке правильно прилегать к полумуфте. Если зазор

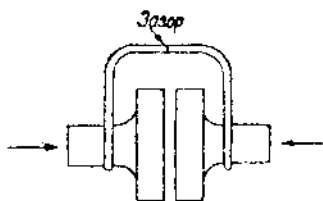


Рис. 51. Выверка полумуфт крючками.

имеется, то, двигая машину в стороны легкими ударами свинцовой кувалды и регулируя высоту подкладками из жести, можно так выверить машины, что зазор между линейкой и полумуфтой исчезнет. На рис. 50 показаны несколько возможных положений полумуфт. Выверку линейкой нужно производить при затянутых болтах, крепящих машину к основанию. После того как машины выверены, нужно повернуть роторы на пол-оборота и повторить проверку. Если полумуфты сидят каж-

дая на своем валу правильно, то муфта и в этом новом положении окажется правильно установленной. Если же одна или обе сидят на валу косо, то после поворота появится зазор между линейкой и полумуфтой. Эту неправильность можно проверить, если промерить шупами до и после поворота зазор между торцами полумуфты в одних и тех же точках. При правильной насадке зазор с каждой стороны должен оставаться неизменным или измениться на одинаковую величину за счет разбега. Если установлена косая посадка какой-нибудь из полумуфт, то для того чтобы определить, какая из них сидит криво, можно воспользоваться индикатором, как это делается при токарных работах.

При отсутствии индикатора можно поступить следующим образом: вынув пальцы, приложить к одной полумуфте линейку, вторую медленно вращать. Если зазор будет меняться, то полумуфта, которую мы вращаем, сидит неверно. Также нужно проверить и вторую полумуфту.

Наконец, для точной выверки пользуются следующим способом: на обеих полумуфтах закрепляют два крючка, как показано на рис. 51, так, чтобы они имели между собой едва видимый на свет зазор. Затем поворачивают медленно муфту и следят за зазором между концами крючков; если он будет меняться, то установка неверна. Во время этой проверки нужно упирать валы обеих машин в сторону муфты, чтобы

роторы упирались в подшипники, иначе зазор во время поворота может измениться за счет разбега.

Этот способ проверки является единственно надежным в том случае, если наружные поверхности муфты неверно обработаны.

В крайнем случае неверная насадка полумуфт может быть допущена, при этом нужно так установить машины, чтобы неправильность установки (зазора) при повороте муфты во всех положениях была одинакова.

Торец вала не должен выступать из полумуфты. При надевании полумуфт нельзя ударять по пальцам, а нужно поставить между ними деревяшку или трубку. Надетая полумуфта должна сидеть на валу совершенно точно, не бить. За этим необходимо особо следить, когда приходится класть подкладки во втулку муфты, если она большего диаметра, чем вал.

§ 2. ПОДБОР ШКИВОВ И РЕМНЕЙ.

Шкивы нужно подбирать по возможности так, чтобы машины работали при нормальной скорости вращения. Если два шкива соединены ремнем, то больший шкив имеет скорость вращения (число оборотов в минуту) во столько раз меньшую, во сколько раз диаметр его больше диаметра меньшего шкива, согласно формуле ¹⁾:

$$n_2 = n_1 \frac{D_1}{D_2}, \quad (32)$$

где: D_1 — диаметр шкива, имеющего скорость n_1 ,

D_2 — диаметр шкива, имеющего скорость n_2 .

Наибольшее допустимое повышение скорости вращения электрической машины (за исключением гидрогенераторов) — 20% сверх номинальной скорости для непродолжительной работы (3—5 минут) и 15% для более длительной. Только очень маленькие машины, до 1 кВт, могут безопасно выдержать значительное повышение скорости вращения. Номинальная скорость вращения всегда указывается на паспорте машины.

Размер шкива зависит от скорости вращения, мощности и размеров конца вала.

В таблице 2 даны размеры нормальных шкивов в зависимости от скорости вращения и мощности, применяемые на зав. „Электросила“.

По этой таблице и следует подбирать шкивы.

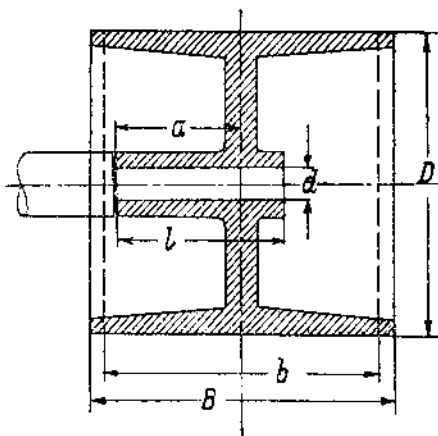


Рис. 52.

¹⁾ Приведенная формула приблизительная, так как в ней не учтено проскальзывание ремня (обычно составляет около 2—3%).

Шкив можно рассчитать, или проверить пригодность имеющегося в распоряжении, согласно следующему¹⁾.

Шкив должен быть такого диаметра и ширины, чтобы вал мог выдержать давление ремня и скручивание.

На рис. 52 дан конец вала и шкива с размерами. Если $l = 2d$ и шкив насажен так, что $a = 5/6l$, что обычно выполняется в электрических машинах, то:

Наименьший допустимый диаметр шкива определится по формуле:

$$D_{\text{наим.}} = \sqrt{\frac{10}{\frac{d^2}{3250 \frac{P}{n} - \frac{1}{d^2}}}} \text{ см.} \quad (33)$$

где: P — мощность машины в kW,

n — число оборотов в минуту,

d — диаметр вала в см,

$D_{\text{наим.}}$ — диаметр шкива в см.

Наибольший допустимый диаметр определяется условием, чтобы окружная скорость шкива (скорость движения ремня) была не больше 30 метров в секунду. В табл. 3 даны наибольшие допустимые диаметры для различных скоростей вращения и соответствующие им окружные скорости, почти равные 30 м/сек.

Если наименьший диаметр, определенный по формуле (33), оказывается больше наибольшего допустимого (при нормальной для машины скорости вращения) диаметра, то это значит, что машина не может работать со шкивом, а рассчитана для работы с муфтой. При необходимости работать со шкивом, нужно удлинить вал и ставить третий подшипник со стороны шкива. Диаметр шкива должен быть при этом такой, какой определен по формуле 33, но шкив должен быть достаточно широк. В некоторых случаях можно допускать окружную скорость (см. ниже) больше 30 м/сек, при этом шкив должен быть стальной, так как в нем возникают значительные силы, стремящиеся его разорвать.

Для того, чтобы подобрать ширину шкива, нужно определить ширину ремня, который может передать усилие, возникающее на шкиве.

Шкив должен быть шире ремня на 10 мм для маленьких шкивов и на 25 мм для больших шкивов.

Ширина ремня определяется по формуле:

$$b = \frac{2P}{Dn\beta}, \quad (34)$$

где: b — ширина ремня в см,

P — мощность машины в ваттах,

n — скорость вращения в об/мин,

β — величина, которую нужно брать из табл. 4, и равна килограммам натяжения ремня на 1 см его ширины,

D — диаметр шкива в см.

¹⁾ Расчет приводится на основании статьи В. А. Васильева в журнале „Вестник электропромышленности“, № 11—12, 1932 г.

Для того, чтобы пользоваться табл. 4, необходимо знать окружную скорость шкива (скорость ремня). Ее можно определить по диаметру шкива с помощью формулы:

$$v = 52,3 \frac{n}{1000} D, \quad (35)$$

где: v — окружная скорость в $м/сек$,
 D — диаметр шкива в метрах,
 n — число оборотов в минуту.

Пример подбора шкива. Испытуемый генератор мощностью 80 kW, 1500 об/мин приводится во вращение электродвигателем 100 kW, 1000 об/мин. Генератор имеет шкив диаметром 360 мм, требуется подобрать шкив на двигатель. Диаметр шкива двигателя определится по формуле (32):

$$D = \frac{360 \cdot 1500}{1000} = 540 \text{ мм.}$$

В табл. 2 ближайшие размеры 500 и 560, диаметр 500 мм мал, а 560 мм можно взять, так как ремень имеет скольжение. Окружная скорость этого шкива, согласно формуле (35):

$$v = 52,3 \times \frac{1000}{1000} \times 0,56 = 29,3 \text{ м/сек.}$$

Скорость 29,3 м/сек находится в пределах табл. 3, следовательно, такой диаметр допустим. Для определения ширины ремня воспользуемся формулой (34); имеем $P = 100\,000$ W, $D = 0,560$ м, $n = 1000$ об/мин.

β находится из табл. 4 следующим образом: ближайшая скорость к нашей (29,3) 30 м/сек, а ближайшие диаметры 500 и 600 мм. При 30 м/сек для 500 мм имеем $\beta = 11$, а для 600 мм $\beta = 12,5$ для ординарного ремня. Следовательно, для нашего диаметра 560 мм $\beta = 11,7$ приблизительно.

Ширина ремня равна, согласно формуле (34):

$$b = \frac{2 \cdot 100\,000}{0,56 \cdot 1000 \cdot 11,7} = 0,323 \text{ м или } 323 \text{ мм.}$$

Шкив должен быть шире на 25 мм, следовательно, его ширина 348 мм. Берем ближайшую стандартную величину 350 мм.

Нужно сказать, что приведенного подсчета размеров ремня нужно придерживаться, если желательно, чтобы ремень служил долго. Если же ремнем не дорожат, то можно его значительно перегружать, употребляя при больших скоростях и нагрузках.

§ 3. СШИВКА РЕМНЕЙ.

Сшивать ремни монтеру приходится редко, это дело шорника, поэтому здесь дается описание только двух способов сшивки: кожей и пружинами.

Для того, чтобы сшить кожаный ремень, заготавливают сшивки — полоски сыромятной кожи. Кожу ремня, острым плоским ножом скашивают возможно правильно на длине, в три раза большей ширины ремня, как показано на рис. 53, складывают друг на друга скошенные края

и зажимают в слесарные тиски, если нет специальных шорных тисков. Затем накалывают плоским шилом дыры и протягивают в них сшивку. Дыры нужно накалывать так, чтобы сшивка все время входила в ремень под острым углом и косо; это показано на рис. 53.

Концы сшивки срезают и деревянным ручником бьют сшитое место для того, чтобы оно приняло толщину остальной части ремня. Это нужно для нормальной работы ремня и подшипников, так как удары толстой сшивки о шкив вредно отзываются на ремне и подшипнике.

На ремни до 50 мм ширины достаточно 2 сшивки, до 100 мм — 3 сшивки и до 150 мм — 4 сшивки, причем сшивки берутся соответственно толще.

Второй способ, пригодный для машин, не свыше 10 kW, заключается в следующем: края ремня ровно срезают и круглым шилом накалывают в них по одному ряду дыр. Затем в каждый ряд продевают железную пружину (вращая, при каждом повороте конец пружины входит в следующее отверстие).

После этого пружины раздавливают в тисках, вдвигают одну в другую и между ними вставляют железный стержень.



Рис. 53. Направление дыр в ремне для сшивки кожей.

В практике часто применяются всякого рода механические сшивки: „Джексоны“ и т. п., однако их нельзя рекомендовать, так как они рвут ремень и вызывают неприятный стук.

§ 4. ПРАВИЛА СБОРКИ СХЕМЫ.

Обязанностью монтера при испытании электрической машины является сборка схемы, включение и выключение машины в сеть питания и регулировка режима работы испытуемой машины и питающих агрегатов. Поэтому необходимо уметь читать схемы, ясно их понимать и твердо знать правила регулировки работы машины.

Прежде чем начинать сборку схемы, нужно вычертить ее на бумаге с проставленными номинальными величинами машин, аппаратуры и приборов. Подобрать все приборы, реостаты, рубильники, провода, инструмент и материалы. Прибрать с места сборки схемы все ненужные предметы и мусор и только тогда начать сборку. Предполагается, что машина уже установлена, как о том говорилось выше.

Во всех случаях, когда это требуется, помимо приборов для измерений в электрической цепи машины, должны быть приготовлены приборы для измерения температуры, скорости вращения и, желательно, часы.

Термометры для измерения температур должны быть укреплены на своих местах по окончании сборки схемы, потому что во время сборки схемы могут быть разбиты. Помимо того, должен быть приготовлен

протокол испытаний, кусок картона в качестве подкладки под протокол и карандаши.

На случай пожара, необходимо иметь наготове сухие огнетушители и осведомиться о расположении пожарных сигналов.

В самой схеме должно быть предусмотрено аварийное выключение, причем оно должно быть тщательно продумано, так как неправильное выключение в некоторых случаях может повести к еще большей аварии. Желательно также предусмотреть торможение машины, механическое или электрическое.

О правилах включения приборов сказано в главе II.

Порядок сборки схемы должен быть таков, чтобы исключить ошибки. Для этого лучше всего собрать якорную цепь со всеми приборами одной машины, затем и ее цепь возбуждения. Затем в таком же порядке все остальные машины. При возбуждении машины от постороннего источника полезно еще в неподвижном ее состоянии убедиться в исправной подаче тока возбуждения для проверки цепей возбуждения.

До и одновременно со сборкой схемы производятся предварительные испытания, описанные в IV главе.

§ 5. РАСПОЛОЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ.

Расположение всех элементов схемы имеет большое значение для быстрой, безошибочной и безопасной работы.

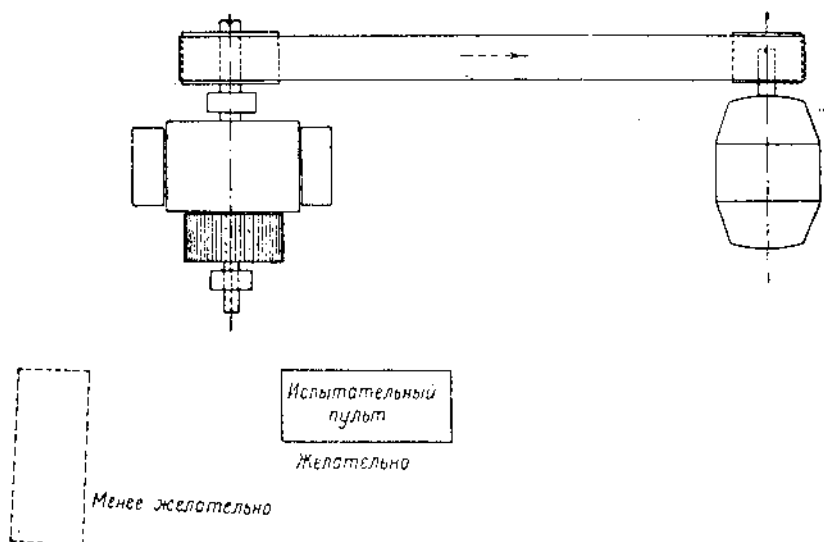


Рис. 54. Расположение испытуемой машины и пульта.

Испытуемый агрегат, если его машины сцеплены муфтой, желательно расположить параллельно испытательному пульту. Если испытуемая машина имеет коллектор, то он должен быть виден и доступен. Если же машины сцеплены ремнем, то они должны быть так расположены, чтобы ремень был параллелен пульту, причем машины должны стоять шкивами в сторону от пульта. Это расположение показано на рис. 54

и является желательным потому, что если ремень лопнет или соскочит, то вылетит в сторону от пульта.

Если такое расположение невозможно по местным условиям, то приходится располагать, как показано пунктиром, что является опасным, так как ремень, соскочив со шкивов, может вылететь в сторону пульта. Чтобы уменьшить эту опасность, следует машины установить в стороне от пульта и так, чтобы верхняя часть ремня имела направление движения, указанное на рис. 54 стрелкой; если ремень соскочит, то вылетит в сторону от пульта. Располагая машины, необходимо помнить,

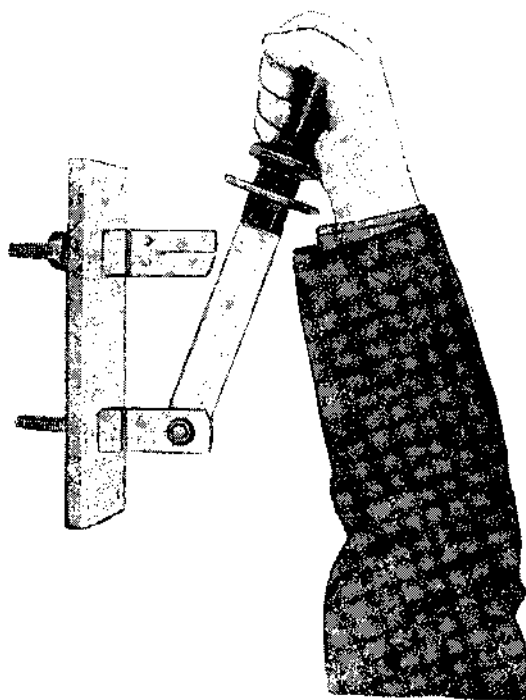


Рис. 55. Правильное положение рубильника.

что испытываемая машина должна вращаться в ту сторону, в которую она будет вращаться в условиях эксплуатации, и ведущей должна быть нижняя сторона ремня. В зависимости от этого, агрегат устанавливается справа или слева от пульта. Расположение с левой стороны удобнее для наблюдения за машинами, измерения скорости и управления.

Масляные выключатели, если они имеются в схеме, удобно расположить позади пульта (т. е. позади людей, работающих у пульта) для того, чтобы они не мешали и были близко, в случае необходимости включения и выключения ручным приводом (см. стр. 82). Если главный рубильник воздушный, то его удобнее всего расположить на правой боковой стенке пульта. Если пульт представляет собой

обыкновенный стол, то для того чтобы рубильник укрепить, можно прибить к ножкам стола доски и крепить рубильники на них. Рубильники в цепях возбуждения должны располагаться в защищенных или мало доступных частях пульта, для того чтобы они не могли быть случайно вырублены. Во избежание ожогов от вольтовой дуги при выключениях, все воздушные рубильники должны быть укреплены на своих местах так, как показано на рис. 55.

В том случае, если рубильник включен в цепь последовательно с автоматическим выключателем, рекомендуется вначале выключать автоматический выключатель, а потом рубильник.

Пусковой реостат, ввиду его громоздкости, удобно ставить подальше от пульта. Для машин постоянного тока удобно его ставить рядом с выключающим приспособлением, а для асинхронных двигателей — у ма-

шины. Всегда желательно иметь пусковой реостат на таком месте, откуда виден амперметр, измеряющий пусковой ток. Только очень большие водяные реостаты приходится ставить совсем в стороне от пульта, но и в этом случае нужно иметь амперметр, расположенный поблизости от реостата.

По существу дела вся регулировка режима работы осуществляется реостатами возбуждения.

Реостаты возбуждения машин (испытываемой и питающих агрегатов) должны быть размещены у самого пульта для того, чтобы с ними было легко оперировать.

Рустратовские реостаты возможно помещать на самом пульте, рычажные — под пультом или рядом с ним.

Вольтметровые переключатели должны быть расположены на пульте поблизости от вольтметра.

Приборы следует располагать так, чтобы относящиеся к одному участку находились поблизости друг от друга и отдельно от других приборов. Например: для машины постоянного тока амперметр и вольтметр цепи якоря отдельно, и амперметр и вольтметр цепи возбуждения — также отдельно. При измерении мощности трехфазного тока двумя ваттметрами нужно поместить рядом в одной группе ваттметр, амперметр и вольтметр одной фазы и в другой группе такие же приборы другой фазы. Расстояние между серединами приборов должно быть около 40 см. Особо важно соблюдать это правило для электродинамических приборов, как наиболее чувствительных к влиянию посторонних магнитных полей.

Необходимо оговорить, что посторонние магнитные поля влияют на прибор только в том случае, если они имеют частоту тока, протекающего по прибору. Если ток постоянный, то влияют все постоянные поля, независимо от происхождения (стальной магнит, земной магнетизм и т. п.).

Рядом с приборами или под ними не должно быть проводов. Провода должны подходить к прибору только со стороны клемм.

Измерительные трансформаторы (тока и напряжения) должны быть возможно ближе к машине, и доступ к ним должен быть огражден.

Провода должны быть размещены правильно, без путаницы и по возможности закреплены. Должно быть сразу видно, откуда и куда идет каждый провод. Все ненадежные места и соединения должны быть тщательно изолированы. Если провод лежит на железе, то под него должен быть подложен лист изолирующего материала; в особенности это важно на углах, где железо может продавить изоляцию.

Провода, находящиеся под напряжением выше 1500 вольт, должны подходить к машинам или в закрытых каналах или на специальных подставках выше человеческого роста. Провода между машиной и измерительными трансформаторами должны быть возможно короче.

Провода должны иметь наконечники. При отсутствии наконечников, их следует зажимать между двумя широкими шайбами.

Изоляция проводов боится масла и резких сгибов.

§ 6. ПОДБОР ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ.

Подбор рубильников. Рубильники применяются только для напряжений до 500 вольт и при токах не выше 1000 ампер. При больших

значениях тока и напряжения рубильники под напряжением не включают и не выключают, и они служат в цепи только для переключений, когда тока в цепи уже нет. Включение же и выключение производится в этом случае масляными выключателями и автоматическими рубильниками.

Рубильники подбираются из расчета 2 ампера на каждый квадратный миллиметр сечения ножа рубильника.

Плотность тока в контактах рубильника допускается до $0,1 \text{ А/мм}^2$, считая обе стороны соприкосновения ножа с гнездом. Щеточные контакты (в рубильниках и реостатах) допускают нагрузки до $0,5 \text{ А/мм}^2$ поверхности контакта. Рубильники желательно ставить вертикально, так как при этом дуга быстрее гаснет под действием струи нагретого воздуха, идущего снизу. Ток должен подводиться к гнездам рубильника, а не к ножам, так как случайные прикосновения к ножам более вероятны, чем к гнездам.

Рубильники могут отключать только свой номинальный ток, который обозначен на их ножах, и при напряжении не выше 500 вольт.

Воздушные автоматы применяются главным образом для постоянного тока. При включении воздушного автомата в цепь, в которой имеется короткое замыкание, автомат сразу выбрасывает, если он регулирован на ток, меньший тока короткого замыкания. Это сопровождается большой дугой, которая может причинить сильные ожоги лицу, включившему автомат. Для устранения этой опасности следует последовательно включить рубильник, расположив его на некотором расстоянии от автомата. Включив сначала автомат, нужно смело и быстро включить рубильник, так как быстрое замыкание тока любой силы безопасно; в случае наличия короткого замыкания, автомат выбросит. Все последующие включения нужно производить в таком же порядке. Выключать же нужно сначала автомат, а затем рубильник.

Масляные выключатели ставятся только в цепь переменного тока, так как при размыкании постоянного тока значительной силы дуга в масляном выключателе может не погаснуть, и выключатель взорвется. Помимо того, длительная дуга, образующаяся при размыкании постоянного тока, загрязняет масло.

На паспорте масляного выключателя всегда обозначены: номинальный рабочий ток, номинальное напряжение и разрывной ток, т. е. тот ток, который масляный выключатель может и должен отключить, в случае короткого замыкания. Разрывной ток во много раз больше номинального тока.

Установка масляных выключателей в помещении, где находятся люди, не допускается, так как при выключении большого тока, например, тока короткого замыкания, есть опасность взрыва масляного выключателя. Поэтому автоматическое выключение не допускается и управление должно быть ручным. В самых крайних случаях масляные выключатели можно применять при испытаниях, но при условии, что ими не придется выключать большие токи. (Конечно, за исключением случаев, когда масляный выключатель находится в отдельном помещении.)

Подбор проводов производится по току, который должна выдерживать медь провода без недопустимого перегрева, и напряжению, которое должна выдерживать его изоляция.

Провод марки ПРН применяется для напряжения до 1000 В при присоединении неподвижных приемников тока и до 500 В при соединении подвижных приемников. Провода марки ПРГН применяются для напряжения до 10 000 В при присоединении неподвижных приемников и до 1500 В при присоединении подвижных приемников. В условиях испытания на испытательной станции, испытываемые машины должны считаться подвижными приемниками. Поэтому при напряжениях выше 1500 В провода нужно подвешивать на специальных стойках выше человеческого роста.

Нагрузка током дана в табл. 5. Для соединительных проводов внутри машины допускаются большие нагрузки, которые можно найти в табл. 7.

При испытаниях приходится пользоваться медными и алюминиевыми шинами. В табл. 6 даны допустимые нагрузки на шины при условии, что они стоят на ребре, так как при этом они меньше изгибаются и лучше охлаждаются.

Провода от шунтов к миллиамперметрам, от трансформаторов тока к амперметрам и провода от шупов должны быть возможно меньшего сопротивления при достаточной гибкости. Наиболее подходящим сечением для этой цели является 10 мм². Желательно иметь эти провода калиброванными по приборам.

Вообще для того чтобы точность измерений была не ниже точности прибора, нужно, чтобы сопротивление проводов прибора составляло бы такой же процент от сопротивления прибора, какой имеет точность прибора. Например, прибор имеет точность 0,2%, т. е. он может дать ошибку на 0,2%. Сопротивление прибора 10 Ω. Сопротивление проводов должно быть не больше 0,2% от 10—0,02 Ω.

Подбор реостатов. На паспорте реостата обычно указывается наименьший и наибольший ток, сопротивление и напряжение, на которое он может быть включен. Наименьший указанный ток допустим при полном включенном сопротивлении реостата. Наибольший указанный ток допустим, когда подвижной контакт реостата находится на последних контактах.

Напряжение, на которое реостат может быть включен, определяется очень просто, исходя из закона Ома. Формула такова:

$$U = IR, \quad (36)$$

где: I — ток, проходящий через реостат,

R — сопротивление реостата,

U — искомое напряжение.

Если реостат включается последовательно с каким-либо сопротивлением (например, шунтовой обмоткой), то искомое напряжение определяется по формуле:

$$U = I(R + R_1), \quad (37)$$

где: I — ток в цепи реостата,

R — сопротивление реостата,

R_1 — сопротивление остальной части цепи,

U — искомое напряжение.

Например, реостат имеет сопротивление 480 Ω. Ток от 0,2 до 3,2 А, шунтовая обмотка, в цепь которой реостат должен быть вклю-

чен, имеет сопротивление 85 Ω . Напряжение, на которое можно включить цепь, согласно формуле (37) определится:

$$U = 0,2 (480 + 85) = 113 \text{ вольт.}$$

Допустимый ток для реостатов определяется (если он неизвестен) по толщине проволоки. В табл. 8 даны толщины проволоки и соответствующий допустимый для них длительный (I_d) и кратковременный (I_k) ток. Данные табл. 8 действительны только для реостатов, намотанных (как в большинстве случаев бывает) из реотана, константана или никелина, удельное сопротивление которых близко 0,5 $\Omega \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

Измерив толщину наиболее тонкой проволоки реостата, найдем по табл. 8 наименьшее допустимое значение тока, а измерив наиболее толстую проволоку — получим наибольшее допустимое значение тока. Следует, однако, обращать внимание на то, нет ли в реостате параллельно включенных ветвей: при наличии параллельных ветвей допустимый ток увеличивается во столько раз, сколько имеется параллельных ветвей.

Допустимая плотность тока для водяных реостатов — 1 А на см^2 сечения, по которому проходит ток, в реостатах без проточной воды, а для реостатов, имеющих охлаждение проточной водой, допускаются значительно большие нагрузки. Расстояние между смежными пластинами водяного реостата должно быть таково, чтобы на каждый сантиметр расстояния между пластинами было не больше 150 В; в противном случае в реостате может произойти перекрытие — загорится дуга на электродах. Если, например, к реостату подведено напряжение 600 В, то расстояние между пластинами должно быть не менее $600 : 150 = 4 \text{ см}$.

Чтобы получить сечение водяного реостата, нужно поверхность одной пластины умножить на число, меньшее числа пластин на единицу. Например, число пластин 5, размер их — $20 \times 60 \text{ см}$. Сечение пути тока равно $20 \times 60 \times (5 - 1) = 4800 \text{ см}^2$. Если к корпусу подается ток, то корпус считается за одну пластину.

Сопротивление проволочного реостата легко определить, измерив толщину проволоки на каждом цилиндре. В табл. 8 даны сопротивления одного цилиндра для различных толщин проволоки. Зная сопротивление всех цилиндров реостатов и сложив их (в том случае, если нет параллельных ветвей), получим полное сопротивление реостата. При наличии параллельных ветвей, предварительно подсчитывается сопротивление каждой группы параллельных ветвей по закону Кирхгофа, и затем все полученные сопротивления складываются. Вполне уверенным можно быть, если просто измерить сопротивление реостата.

Формула Кирхгофа:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots, \quad (38)$$

где: R — сопротивление группы параллельных ветвей,
 r, r_1, r_2, r_3 — сопротивления ветвей.

В том случае, если параллельные ветви имеют равное сопротивление, формула (38) принимает вид:

$$R = \frac{r}{n}, \quad (39)$$

где: R — сопротивление всей группы параллельных ветвей,
 r — сопротивление одной ветви,
 n — число ветвей.

Сопротивление всякого проводника определяется по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{q}, \quad (40)$$

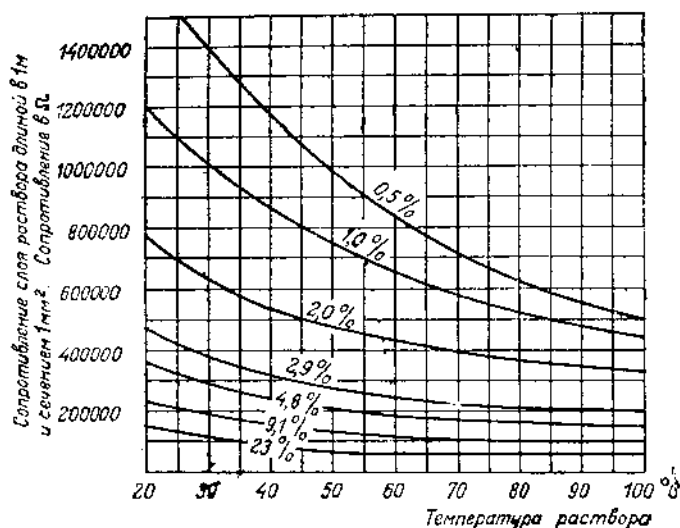


Рис. 56. Кривые для определения сопротивления растворов соды в воде, различной концентрации, в зависимости от температуры раствора.

где: R — сопротивление проводника,
 ρ — сопротивление проводника этого же материала в 1 м длиной и 1 мм² сечения, — так называемое удельное сопротивление,
 l — длина проводника в м,
 q — сечение проводника в мм².

Сопротивление водяного реостата определяется в зависимости от конструкции. Для этого нужно определить сечение пути тока и его длину и, зная удельное сопротивление жидкости, определить сопротивление по формуле (40).

Удельное сопротивление ρ для водяных растворов соды различной концентрации при разных температурах дано на рис. 56. Наиболее желательной концентрацией является 5—10%, так как при больших концентрациях сопротивление неустойчиво, особенно при значительных температурах. Наибольшая допустимая температура раствора 80—90° С.

Сопротивление металлических трехфазных реостатов обозначается обычно так: $3 \times 4,5$, $3 \times 2,8$ и т. д. Это обозначает: три ветви, каждая сопротивлением в $4,5 \Omega$, $2,8 \Omega$ и т. д. Обычно все три ветви соединены в звезду.

Если трехфазным реостатом пользоваться для однофазного или постоянного тока, то можно получить следующие комбинации:

1. Подводить ток к нулевой точке и одной клемме, рис. 57-I. Сопротивление равно сопротивлению одной фазы, допустимый ток равен номинальному для реостата току.

2. Соединить две клеммы реостата, собранного в звезду. Ток подводить к этим двум клеммам и к третьей клемме. Схема рис. 57-II. Сопротивление реостата больше в 1,5 раза, чем сопротивление одной фазы. Допустимый ток и здесь равен номинальному току реостата.

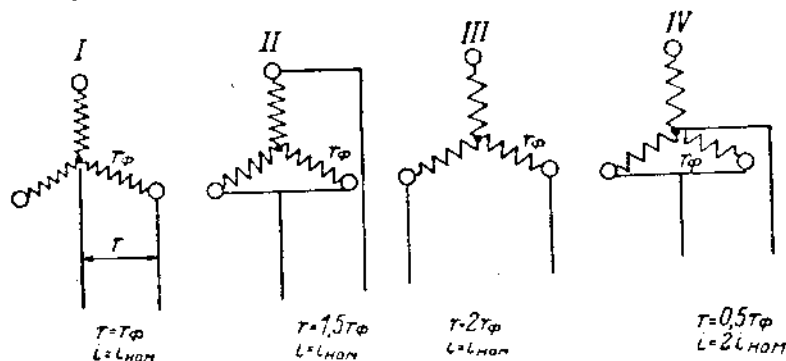


Рис. 57. Возможные схемы включения трехфазных реостатов при использовании их для однофазного или постоянного тока.

3. Подводить ток к двум клеммам реостата, собранного в звезду, схема рис. 57-III. Сопротивление в два раза больше, допустимый ток опять равен номинальному току реостата.

4. Соединить две клеммы реостата и подводить ток к этим двум клеммам и к нулевой точке. Схема рис. 57-IV. Сопротивление равно половине сопротивления одной фазы, допустимый ток вдвое больше номинального тока реостата.

Следует иметь в виду, что в трехфазных реостатах нулевая точка (точка соединения всех трех фаз) в большинстве случаев соединена с корпусом.

Нагрузочным реостатом может служить любой реостат при условии нагрузки его длительное время таким током, при котором он не пострадает. По табл. 8 по току I_0 можно судить о пригодности проволочного реостата, измерив толщину его проволоки. Для нагрузки генераторов небольшой мощности (примерно до 10 kW) применяются ламповые реостаты. Лампы включаются группами. Если напряжение генератора 500 вольт, то нужно включить 4 группы последовательно из лампочек по 120 вольт: $4 \times 120 = 480 \text{ V}$. Если ток должен быть 10 ампер, а лампа потребляет 0,5 ампера, то в каждой группе должно быть 20 параллельно включенных ламп, так как потребляемый такой цепью ток: $0,5 \times 20 = 10$ ампер. Соответствующим образом ведется подбор для других напряжений и токов.

Следует, однако, иметь в виду, что ламповые реостаты в работе неудобны и часто небезопасны.

При пользовании водяными реостатами в качестве нагрузочных следует время от времени подливать воду, так как она интенсивно испаряется. Очень удобно можно получить приемники для значительных нагрузок, если обычные проволочные реостаты поместить в бочки с проточной водой. При этом допустимая нагрузка увеличивается примерно в 10 раз. Однако, эти реостаты нежелательно применять при напряжениях выше 500 вольт. Очень большие нагрузки можно получать, если опускать большие электроды в каналы с проточной водой, например, в сток воды на электростанциях.

Для постоянного тока применяются водяные реостаты в качестве нагрузочных нежелательно, так как во время работы в них выделяется гремучий газ, который может дать взрыв.

Пусковой реостат к двигателю постоянного тока подбирается в зависимости от условий пуска. Если двигатель пускается вхолостую, то реостат должен быть рассчитан на ток холостого хода двигателя. Если двигатель должен взять с места при полной нагрузке, то реостат должен быть рассчитан на полуторакратный ток двигателя. Если же двигатель пускается при нагрузке, которая увеличивается вместе с увеличением скорости вращения двигателя (например вентилятор), то реостат должен быть рассчитан на номинальный ток. Во всяком случае пусковой ток не должен быть выше полуторакратного тока. Сопротивление реостата должно равняться отношению напряжения сети к пусковому току двигателя.

Пусковые реостаты для асинхронных двигателей трехфазного тока можно подбирать с помощью табл. 9. В первой графе даны отношения номинального напряжения ротора к его номинальному току; в следующих графах — соответствующее сопротивление пускового реостата и допустимый при этом ток.

Реостаты возбуждения машин постоянного тока подбираются таким образом, чтобы в нормальных условиях ток возбуждения можно было регулировать от половины нормального до нормального. В условиях же испытания электрической машины часто бывает необходимо иметь очень незначительный ток возбуждения; для этой цели в цепь возбуждения включают последовательно реостаты очень высокого сопротивления и нормальный реостат для данной машины.

Нормальный ток возбуждения шунтовых машин постоянного тока в большинстве случаев составляет 3—5% от тока якоря (подробнее см. табл. 10). На этот ток и нужно подбирать реостат возбуждения. Например, имеется машина постоянного тока 220 вольт, 20 киловатт. Ее номинальный ток равен: $20\,000:220=91$ ампер. 3% от 91 составляет 2,73 ампера. Следовательно нужно иметь реостат на 2,73 ампера с регулировкой, примерно, от 1,5 ампер. Сопротивление его будет при этом условии (если пренебречь сопротивлением обмотки возбуждения) $220:1,5=146$ ом. По табл. 8 находим толщины проволоки 0,6 мм в первых секциях и 0,9 мм в последних.

Реостаты возбуждения машин с независимым возбуждением подбираются по напряжению и току обмотки возбуждения.

Реостаты в цепях возбуждения синхронных машин обычно не ставятся, а регулировка тока возбуждения производится изменением на-

пряжения генератора, питающего обмотку возбуждения синхронной машины. В случае необходимости иметь реостат в цепи возбуждения синхронной машины, он подбирается по напряжению и току обмотки возбуждения, согласно закону Ома, в зависимости от пределов регулировки.

Рустратовские реостаты в цепях возбуждения полезно включать так, как показано на рис. 58, так как, в случае нарушения контакта между проволокой и ползуном, цепь не будет разомкнута.

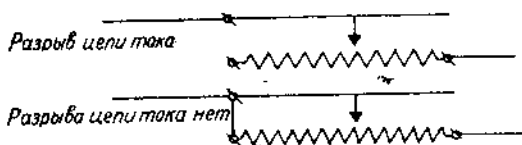


Рис. 58. Рекомендуемое включение рустратовского реостата.

В случае необходимости точной регулировки тока, следует включать последовательно реостаты высокого и малого сопротивления. Первые служат для грубой, а вторые для тонкой регулировки.

Схемы включения реостатов читатель может найти в соответствующей литературе, в частности в книге: Н. Н. Замятин, „Обслуживание электрических машин“. Энергоиздат, 1933 г.

§ 7. ЗАКЛАДКА ТЕРМОПАР.

В число подготовительных работ входит закладка термопар. Работу эту следует делать тщательно, предварительно хорошо усвоив понятие о работе термопары (см. гл. II).

Для измерения температуры воздуха термопарами их прикрепляют к натянутой бечевке так, чтобы спай приходился в нужном месте. В случае необходимости готовят маленькие крон-

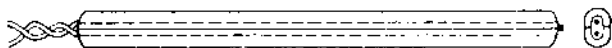


Рис. 59. „Штык“ для измерения температуры воздуха в междужелезном пространстве.

штейны, к которым крепят термопары, и укрепляют кронштейны на винтах. Термопары, измеряющие температуру выходящего воздуха, располагаются на поверхности входа воздуха. Термопары, измеряющие температуру выходящего воздуха, располагаются не на поверхности выхода, а на 10—20 см глубже.

Температура воздуха измеряется преимущественно при закрытой системе вентиляции. Места измерения—вход и выход воздуха; в турбогенераторах, помимо входа и выхода,—также в камерах горячего и холодного воздуха и в зазоре.

Для измерения температуры воздуха в зазоре между статором и ротором (междужелезное пространство) турбогенераторов применяют так называемые „штыки“ (см. рис. 59). Штык изготовлен из бука и состоит из двух половин, в которых по длине сделан желобок. В этот желобок закладывают термопару так, чтобы спай выступал за конец штыка. Половинки складывают вместе, и на концах и посередине

штыка делают поперечную канавку, по которой обворачивают штык изоляционной лентой, следя за тем, чтобы она не выступала над поверхностью дерева. Собранный штык вставляется в радиальный канал в железе статора так, чтобы спай высовывался в междужелезное пространство на нужную глубину. Входить в канал он должен плотно. Для того чтобы он не проваливался в зазор, у поверхности активного железа на него наматывают в несколько слоев изоляционную ленту. Такой упор прост и вполне надежен.

Для измерения температуры обмотки — термомпары кладут спаем на требуемое место и прижимают деревянными упорами, или же привязывают, обворачивая лентой. В обоих случаях спай должен быть закрыт от окружающего воздуха для того, чтобы он мог нагреться до температуры обмотки.

Как правило, термомпары крепятся к изоляции обмотки, но не к металлу; последнее делается только в особых случаях и то лишь в машинах с напряжением не выше 60 вольт.

Считается, что при установившейся температуре машины температура изоляции между стержнями обмотки равна температуре металла обмотки, поэтому термомпары, заложенные между стержнями обмотки (при стержневой обмотке) и в глубине катушки (при катушечной), измеряют температуру металла обмотки.

В обмотках машин постоянного тока термомпары закладываются редко, так как температура этих обмоток измеряется непрерывно по сопротивлению достаточно удобно и точно. Зато в машинах переменного тока ими широко пользуются, так как термомпары измеряют температуру во время работы, а способ сопротивления в машинах переменного тока не дает этой возможности, кроме того обмотки недоступны для термометра и наблюдателя.

Обычно термомпары укрепляются на лобовых частях обмотки и в середине паза между стержнями обмотки, а если последнее невозможно, то под клином, удерживающим обмотку. Между стержнями термомпара закладывается во время изготовления или перемотки машины, а под клин — в любое время, когда только ротор вынут из статора. Для этого нужно клин осторожно выбить, сострогать часть по высоте и, положив термомпару, снова загнать клин на место.

Перед испытанием изоляции машины на пробой все термомпары должны быть сняты, так как обмотка может быть на них пробита.

Для измерения температуры железа раздвигают листы железа зубилом или отверткой, ударяя по ней, и в щель закладывают термомпару. Когда отвертка выпута, железо сжимается, и термомпара оказывается зажатой. Обычно термомпары закладываются в спинку активного железа статора через равные расстояния в количестве 4—6 и более штук по длине статора. В крайние пакеты термомпары закладываются обязательно, так как эти пакеты могут быть нагреты больше других полем рассеяния лобовых частей обмотки.

Иногда термомпары ставятся вглубь пакета статора; выводить термомпару следует через радиальный канал не только по соображениям удобства и механической надежности, но и для предохранения от замыкания на железо статора. Если термомпары вывести через расточку статора, то поток, проходящий в железе, оказывается связанным с контуром, образуемым термомпарами, листами, с которыми они сое-

диняются, и корпусом. В этом контуре индуцируется э. д. с. и при замыкании листов активного железа термопарой происходит короткое замыкание. В том случае, если термопары выведены через радиальные каналы, контур этот огибает поток машины, в нем не индуцируется э. д. с. и опасности короткого замыкания нет. В случае короткого замыкания может сгореть прибор, сгорает замыкающийся проводничок или выгорает железо зубцов, если проводник толст. В турбогенераторах напряжение между крайними зубцами статора по длине доходит до 300 вольт.

Термопары закладываются в активное железо только в машинах переменного тока, где оно нагревается токами Фуко и потерями на гистерезис. Корпус же нагревается преимущественно теплом окружающих частей, температура его не может быть выше температуры этих частей, поэтому обычно она не измеряется. По этой же причине не измеряется температура железа индуктора машин постоянного тока (за исключением специальных случаев).

Общие правила крепления термопар таковы: 1. Термопары не должны иметь „барашков“ и перекрученных мест. 2. Должны быть укреплены так, чтобы не болтались. 3. Не должны быть спутаны между собой. 4. На обоих концах термопары должны быть бирки с одинаковыми номерами или обозначениями. 5. По окончании надобности в термопаре следует выпрямить все мятые места и свернуть ее в бухточку, намотав на ладонь. Начинать намотку тем концом, где нет спая. Вторым концом обернуть бухточку несколько раз, чтобы она не рассыпалась. Бухточки для хранения подвешиваются гирляндой на бечевке. 6. Перед новым употреблением термопары необходимо убедиться в исправности спая. Для особо ответственных испытаний — проверить термопару на приборе.

В случае крайней необходимости измерения температуры какой-либо точки вращающейся части машины можно также воспользоваться термопарой. Для этой цели термопара закладывается в требуемое место и надежно укрепляется на роторе машины. Концы ее подвоятся к двум кольцам, укрепленным где-либо на валу. Кольца можно сделать из медной ленты, обтянув ею вал и спаяв ее концы. Предварительно вал должен быть обернут прессшпаном или другой подобной изоляцией. Щетки должны быть из того же материала, что и кольца и не должны сильно нажимать на них.

Постоянные термопары или детекторы размещаются в турбогенераторах завода „Электросила“ в следующих местах: в трех равно отстоящих пазах по одной термопаре на две пазы и одной — между стержнями обмотки, всего 6 штук. Закладываются на середине пазы (считая по длине). Концы выводятся в специальную клеммовую коробку.

§ 8. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЯМ ВЕНТИЛЯЦИИ.

При подготовке крупных машин (турбогенераторов) к вентиляционным испытаниям приходится делать ряд приспособлений по указанию лица, производящего испытание. Укажу несколько приспособлений.

1. Для того чтобы производить измерение давлений в радиальных каналах турбогенератора трубками полного и статического давления,

с машины в нужных местах снимается обшивка. В открывшейся камере, параллельно оси машины, устанавливается траверза — круглый стержень, диаметром в полдюйма, длиной немного меньше ширины камеры, и с резьбой на концах: на резьбу накручены длинные гайки. Отвинчивая эти гайки, мы упрям их в стенки камеры, и стержень окажется надежно укрепленным. По стержню ходит деревянная колодка. В этой колодке, перпендикулярно стержню, имеется отверстие, в которое проходит трубка, измеряющая давление.

Установив колодку против радиального канала,двигаем в него измеряющую трубку и производим измерения. Затем, вытянув трубку, передвигаем колодку к следующему каналу и повторяем измерения. Траверза и колодка должны быть установлены так, чтобы трубка приходилась на оси канала. Камера должна быть закрыта фанерным листом с прорезом по длине траверзы, в котором должна двигаться трубка, измеряющая давление в вентиляционном канале.

II. Для измерения расхода воздуха снимается обшивка с камеры горячего воздуха, и на ее месте устраивается прямоугольная труба из фанеры. По сечению трубы, отступя вглубь нее на 150—200 мм, натягивается сетка из тонкой (0,3 мм) стальной проволоки или бечевки, которая делит сечение трубы на квадратики 100×100 мм. При измерении расхода воздуха анемометр (см. главу II, § 19) держат по 15—30 секунд против каждого квадрата.

Общие правила подготовки к испытанию вентиляции сводятся к следующему. Все приспособления должны быть выполнены надежно, должна быть исключена возможность попадания их на движущиеся части или внутрь машины. Должна быть исключена возможность порчи изоляции или каких-либо частей. Все резиновые трубки должны быть укреплены надежно, не болтаться, не иметь сгибов и сжатых мест. Для этого хорошо их привязывать широкой миткалевой лентой. На всех трубках должны быть бирки с номерами или другими обозначениями.

Глава IV.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

§ 1. ПРОГРАММА ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Испытания всех электрических машин делятся на предварительные и основные.

Предварительные испытания в основном служат для того, чтобы убедиться в отсутствии дефектов в машине. Предварительные испытания не менее важны, чем основные, тем более, что их должны проводить самостоятельно монтеры.

Предварительные испытания производятся по одной программе для всех типов машин и имеют много общего. Поэтому ниже дано все, что относится к предварительным испытаниям всех типов машин и выделены особенности каждого типа (постоянного тока, синхронных, асинхронных).

Программа предварительных испытаний электрической машины.

1. Осмотр.
2. Продувание и очистка.
3. Проверка эксцентриситетов и зазоров.
4. Измерение сопротивления изоляции.
5. Измерение сопротивления обмоток.
6. Проверка обмоток.
7. Подготовка щеточного хозяйства.
8. Сушка.
9. Пробный пуск.
10. Испытание на разнос.

§ 2. ОСМОТР.

Прежде чем приступить к испытанию машины, необходимо ее осмотреть с целью выяснения могущих в ней быть повреждений, а также особенностей машины, знание которых понадобится в дальнейшем.

Ротор. В машинах постоянного тока следует осмотреть:

1. Изоляцию обмотки якоря — цела ли она, и в случае заметных повреждений сообщить лицу, ответственному за испытание; если поврежден лак, покрывающий выводы от обмотки к пластинам коллектора, то закрасить эти места армалаком.

2. Проверить качество пайки выводов обмотки к пластинам коллектора; при хорошем качестве пайки, место соединения залито оловом без щелей и раковин. Расстояния между петушками должны быть оди-

наковы. Внимательно осмотреть дорожки между пластинами и, в особенности, между петушками: нет ли остатков олова от пайки, замыкающих пластины между собой.

3. Осмотреть поверхность коллектора; она не должна иметь царапин, выбоин и выступающей слюды; выступающая слюда ощущается, если провести ногтем по коллектору.

4. У машин малого и среднего размера проверить легкость вращения якоря, и следить при этом, не задевает ли он где-либо. Вращать за муфту или шкив. Очень крупные машины вращают с помощью крана.

5. Обратить внимание на целостность бандажей и плотность посадки клиньев.

При осмотре ротора машин переменного тока, следует обратить внимание на клинья, железо и изоляцию и, помимо того, осмотреть поверхность контактных колец, нет ли в них повреждений и, что особо важно, трещин. Небольшие повреждения допустимы, трещины же недопустимы, потому что кольцо, их имеющее, может на ходу разлететься на куски. Поверхность их должна быть не волнообразной, без вогнутости или выпуклости, и без заваленных краев.

У машин, имеющих короткозамкнутую обмотку (беличье колесо, рис. 143) на роторе для асинхронного пуска, следует осмотреть качество сварки стержней с кольцами.

Соединительные провода от обмотки к кольцам должны быть надежно укреплены и припаяны.

Если ротор короткозамкнутый, то следует осмотреть качество пайки стержней к короткозамыкающим кольцам.

Следует осмотреть муфту, соединяющую машины. Если соединение сделано жесткой муфтой, то проверка производится так, как это описано в руководствах по монтажу электрических машин.

Статор. При осмотре станины машины постоянного тока обратить внимание на целостность изоляции обмоток основных и добавочных полюсов. Главное внимание обратить на расстояние между добавочными и основными полюсами. Расстояния от двух смежных основных полюсов до добавочного, расположенного между ними, должны быть равны; максимальная допустимая ошибка около 2 мм. Обычно неправильность легко заметна на-глаз, и измерение следует производить, если имеется сомнение.

При осмотре статора машин переменного тока (если он доступен для осмотра) необходимо обратить внимание на следующее.

1. Плотны ли сидят на своих местах клинья; испробовать это можно, поставив на конец клина деревяшку и ударя по ней чем-либо; делать это следует осторожно, чтобы не повредить изоляции.

2. Хорошо ли собрано активное железо. Проверить это можно, вытаскивая нож со стороны спинки между листами; при хорошей сборке он без удара не пойдет.

3. Особое внимание следует обратить на надежность крепления лобовых частей машин с американской обмоткой. Дело в том, что при коротком замыкании, которому во время эксплуатации нередко подвергается всякий генератор, по обмотке протекает кратковременный ток, достигающий до 15-кратного значения номинального. При этом лобовые части испытывают сильный механический толчок, стремясь притя-

нутся друг к другу. Если крепление их недостаточно надежно, эти части изгибаются, и изоляция их дает трещины (в особенности в местах выхода из паза). Поэтому важно не только крепление лобовых соединений к корпусу, но и наличие между ними распорок. Все это относится главным образом к турбогенераторам, у которых лобовые части длинные и поэтому сами по себе недостаточно прочны.

4. Целы ли выводные концы, надежно ли они закреплены под клеммами и нет ли на близком расстоянии от них каких-либо предметов или частей корпуса. Особо важно для высоковольтных машин. В высоковольтных машинах следует осмотреть фарфоровые втулки клемм, нет ли в них трещин. При наличии трещин сменить втулку или зажим.

Желательно убедиться в правильности соединений. Если испытание производится на месте установки, то необходимо осмотреть распределительное устройство.

Корпус. Если машина закрытая, то нужно осмотреть, насколько плотно прилегают крышки и воздухопроводящие трубы. Если же машина герметическая (для шахт и т. п.), то нужно убедиться, что в местах соединения отдельных частей (замки подщипниковых щитов, клеммовая коробка, заглушки) нет щелей и неплотностей. Все болты, гайки, шпильки, рымы должны быть на своих местах и достаточно туго затянуты.

У турбогенераторов требует внимательного осмотра вся система вентиляции. Не должно быть утечки воздуха из машины и засоса внутрь ее. Обшивка, щиты, люки должны быть так поставлены и уплотнены, чтобы не было щелей.

Турбогенераторы от 6000 kW и выше имеют обязательно замкнутый цикл охлаждения: горячий выходящий воздух попадает в герметическую камеру, разделенную частым радиатором, по трубам которого протекает холодная вода. Горячий воздух, обтекая радиатор, остывает, и из второй половины камеры поступает в машину. Это дает возможность интенсивно охлаждать машину и предохранить ее от пыли. Камера с радиатором ставится на месте установки машины. При осмотре следует обратить внимание на надежность подачи воды и отсутствие течи в радиаторе. Последнее чрезвычайно важно, так как в случае течи машина быстро отсыревает. Радиатор должен предварительно тщательно испытываться, желательно водой под давлением.

При осмотре нужно обратить внимание на целостность термометров, установленных в машине, и проверить исправность термопар. Последние всегда имеются в турбогенераторах, распределение их описано в главе III.

Щеточное хозяйство. Траверза при завинченном стопорном винте должна быть неподвижна даже при большом усилии, стремящемся ее повернуть. При опущенном же стопорном винте — должна поворачиваться, но без слабину.

Бракетки должны быть плотно закреплены и не вибрировать при небольшом ударе; поверхность для крепления щеткодержателей не должна иметь выступов и завоин.

Щеткодержатели должны быть жесткой конструкции и на-глаз должны быть расположены так, как указано ниже (см. расстановку щеткодержателей). Щетки должны входить в щеткодержатели свободно, но без излишней слабину. Если вставить щетку на место, приложив

к ней полоску бумаги, то она должна входить туго. Следует также обратить внимание на то, чтобы все щетки были одной марки. Необходимо проверить надежность соединения проводничков, идущих от щеток к бракетам, с этими последними. Плохие контакты в этих местах вызывают неравномерное распределение тока между щетками, что может быть одной из причин искрения щеток.

При осмотре подъемного механизма асинхронных двигателей необходимо обратить внимание на следующее: достаточно ли надвигается замыкающее кольцо на контактные пружины и достаточно ли сильно они пружинят; сдвигается ли с них кольцо совершенно при опущенных щетках; равномерно ли поднимаются щетки и плотно ли они опускаются на кольцо; шлифована ли поверхность щеток, надежно ли они закреплены, не разболтаны ли отдельные части щеточного механизма. Если на контактных пружинах или замыкающем кольце есть оплавленные места, то причиной может служить: замыкание кольцом при введенном пусковом реостате, подъем щеток раньше, чем кольцо доходит до пружин, или же слабые контактные пружины. В последних двух случаях нужно осмотреть механизм и исправить.

Щетки желательно иметь угольно-медные или мягкие графито-угольные марки W, W₂, так как при пуске через щетки идет значительный ток, и при большом переходном сопротивлении щетки сильно нагреваются и начинают искрить. Помимо того, сопротивление всей цепи ротора невелико и нежелательно вносить в него излишнее сопротивление (предусмотренное расчетом пускового реостата).

Все сказанное особенно важно для крупных машин, так как в них протекают значительные токи. О качестве щеток сказано в параграфе „Работа щеток и подбор марки щеток“, V глава.

Смазка. Осматривая смазку, прежде всего следует выяснить систему ее: кольцевая или под давлением. Для первой — проверить, вращается ли кольцо, на месте ли и не пропускают ли пробка и маслоуказатель. Для второй — наличие соединительных фланцев для труб и уплотнений подшипников с внешней и внутренней сторон подшипника.

Особого внимания требуют турбогенераторы большой мощности, как очень быстроходные и тяжелые машины. Наиболее слабым местом являются у турбогенераторов уплотнения и лабиринты в подшипниках, так как масло подается под давлением (до 0,5 атмосферы), во время работы сильно нагревается и вязкость его сильно понижается.

Помимо системы смазки самой машины, следует проверять всю систему, подающую масло к машине, обратив внимание на то, что бак, из которого подается масло, должен иметь в любое время часовой запас масла, так как тяжелая машина обычно не может быть остановлена быстро. Обычно требуется для остановки от 15 до 60 минут. Бак должен иметь автоматическую подачу масла и обязательно сигнализацию, которая должна действовать, когда остается часовой запас масла.

Подшипники должны быть залиты маслом до уровня маслоуказателя. Сорта масла применяются следующие: для машин до 1500 об/мин — машинное, автол; 3000 об/мин и выше — турбинное.

Нужно добавить, что в быстроходных машинах иногда делают водяное охлаждение подшипников. Для этого внутри подшипника в масле помещается спираль (змеевик) из медной трубки, через которую про-

пускают холодную воду. Иногда эта трубка бывает залита в тело вкладыша. Если эта трубка (или соединения с ней) дает течь, то масло в смеси с водой превратится в эмульсию, и подшипник может сгореть. Поэтому при наличии водяного охлаждения следует проверить, не дает ли оно течь, для чего нужно несколько минут пропускать через спираль воду при давлении 1,5—2 атмосферы и, выпуская затем масло из подшипника, посмотреть, нет ли в нем воды. Следует, однако, оговориться, что подшипник, работающий на эмульсии, сгорит не моментально, а может в течение некоторого времени работать. Поэтому в особых случаях, когда машину останавливать нежелательно, можно работать с эмульсией, но имея тщательное наблюдение за подшипником. Наконец, не следует забывать проверить, имеется ли в подшипниках масло.

§ 3. ПРОДУВКА И ОЧИСТКА

В том случае, когда машина сильно загрязнена, ее следует после осмотра продуть и очистить. Во всяком случае продувка производится после притирки щеток. Продувать лучше всего сжатым воздухом, а при отсутствии его хотя бы ручным мехом. Перед продувкой следует тщательно закрыть подшипники. Воздух гнать со стороны муфты к коллектору и на нем продувку закончить, для того чтобы пыль с коллектора не оседала на якорь. Тряпкой тщательно стереть остатки пыли, масла, тавота. Иногда приходится протереть канавки между ламелями, делать это нужно тряпкой и заостренной деревяшкой, но не железными предметами.

Продувка асинхронных машин затрудняется тем, что у них зазор очень мал. Наиболее удобно продувать сначала вдоль, по валу и зазору, затем по вентиляционным каналам в активном железе (если они имеются) по направлению к валу, затем опять вдоль по валу и лобовым частям обмотки. После продувки повернуть ротор, для того чтобы убедиться, не попал ли какой-нибудь случайный предмет в зазор. После продувки машину обтереть тряпкой от пыли и масла. Продувка синхронных машин производится так же, как асинхронных.

§ 4. ПРОВЕРКА ЭКСЦЕНТРИЧНОСТЕЙ И ЗАЗОРОВ.

Измерение зазоров производится щупами. Если зазор велик, то необходимо иметь калиброванный металлический брусок немного меньше зазора, и измерения производить этим бруском со щупами. Зазоры больше 25 мм можно измерять внутренним микрометром. Можно также производить измерения нутрометром и штангенциркулем.

Проверка на эксцентricность производится следующим образом: выбирают какую-либо точку (лучше середину) полюса и измеряют зазор между ней и якорем. Измерение производится с обеих сторон якоря. Затем повторяют измерение, поворачивая якорь через $\frac{1}{3}$ оборота. Измерение нужно производить между железом полюса и якоря, а не между железом полюса и бандажом якоря, например: если железо якоря недоступно, — измерение нужно производить на обточенных частях. Если машина закрывается, то в ее щитах имеются люки с заглушками. Сняв заглушку, можно просунуть руку со щупом внутрь машины. Действовать нужно осторожно, чтобы не повредить щупом обмотку.

В маленьких машинах и герметических — люки не делаются, и проверка на эксцентricность не производится. Зазор проверяется измерением диаметра ротора и расточки статора; их разность, деленная на два, дает зазор. Но зазор, конечно, может оказаться не всюду одинаковым. Он зависит от качества изготовления и сборки деталей.

У машин с явно выраженными полюсами следует проверять зазор под всеми полюсами. Помимо того, полезно проверить зазор после 5—6 часов работы, а также после испытания на угонную скорость, так как в этих машинах каждый полюс закрепляется отдельно, и под влиянием центробежной силы и при недостаточно хорошем креплении может сдвинуться с места. Допустимые отклонения от величины зазора $\pm 5\%$, а допустимая эксцентricность должна быть такова, чтобы разность между наибольшим и наименьшим зазором составляла не больше 10% от величины двухстороннего зазора. Зазоры следует записать в протоколе испытаний и мелом на корпусе машины.

В случае необходимости, проверяются зазоры во вкладышах. Нормальные зазоры приведены в табл. 11, 12.

Проверку эксцентricности контактных колец производят индикатором, поворачивая медленно ротор. Для тихоходных машин (до 1000 об/мин) некоторая эксцентricность допустима.

Эксцентricность коллектора также проверяется индикатором. Помимо того, малейший бой заметен на ходу, если коллектор полирован. Если смотреть на коллектор, то в каком-либо месте будет блестящая полоска вдоль него. Если коллектор бьет, то эта полоска на ходу машины дрожит, и тем больше, чем больше бой коллектора. При отсутствии боя коллектора, полоска остается совершенно неподвижной. Это делается более заметным, если смотреть на коллектор несколько издали.

§ 5. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК.

Одновременно с проверкой обмоток, или по ее окончании, производится измерение сопротивлений обмоток машины в холодном состоянии. Работа эта требует большого внимания и тщательности, потому что ошибка в измерении сопротивления на 1% дает при подсчете температуры по сопротивлению ошибку в $2,5^\circ$.

Измерение сопротивлений обычно производится способом амперметра и вольтметра, описанным во II главе. Перед измерением нужно убедиться в том, что к измеряемой обмотке не присоединено последовательно или параллельно какое-либо сопротивление. Лучше всего разъединить обмотки в клеммовой коробке. Для подбора приборов нужно знать ориентировочные величины сопротивлений обмоток.

Измерение сопротивлений в холодном состоянии следует производить после того, как машина стояла несколько часов, чтобы можно было считать ее температуру равной температуре окружающего воздуха. Еще лучше во время измерения сопротивления измерять температуру обмоток термометрами или термопарами.

Ток для измерения сопротивления должен быть очень мал по сравнению с нормальным током обмотки (не свыше 10%) для того, чтобы она во время измерения не нагревалась.

Измерение сопротивления обмотки возбуждения. Это измерение особых пояснений не требует. Ориентировочная величина сопротивле-

ния обмотки возбуждения может быть получена, как частное от деления нормального напряжения возбуждения на ориентировочную величину тока в обмотке; эта последняя для шунтовых машин постоянного тока может быть взята по табл. 10. Следует помнить, что в машинах с независимым возбуждением нормальное напряжение обмотки возбуждения может отличаться от номинального напряжения машины.

Измерение сопротивления якоря. Измерение сопротивления якоря осуществить достаточно точно весьма трудно. Существуют различные способы. Практически наиболее удобным и точным является следующий.

Хорошо притирают все щетки и дают машине поработать для того, чтобы щетки пришлифовались к коллектору. Затем машину останавливают, дают ей остыть, отключают от собирательных шин шунтовую обмотку (и всякие параллельно присоединенные сопротивления, если они есть). К собирательным шинам подводят ток (замыкающийся через якорь), а с двух пластин коллектора, находящихся под рядом расположенными щетками разной полярности, снимают напряжение. Это из-

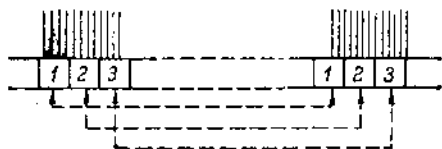


Рис. 60. Измерение сопротивления обмотки якоря.

Ток подводится в обмотку якоря через щетки, напряжение измеряется между пластинами 1—1, 2—2, 3—3 и т. д.

мерение производят для всех пластин, перекрываемых щетками, например, для пластин 1—1; 2—2; 3—3, как показано на рис. 60. Сопротивление определяют по формуле (17) (см. главу II, § 13), причем вместо напряжения U подставляют среднее значение измеренных напряжений. Ток во время измерения должен не превышать 10% номинального тока машины; его значение подставляется вместо I в формуле (17).

Если необходимо измерять сопротивление якоря для определения по нему нагрева, то приведенный выше способ громоздок и недостаточно точен. В этом случае поступают следующим образом.

Сосчитывают число пластин коллектора и делят его на число полюсов. На коллекторе отмечают две пластины так, чтобы

$$y = \frac{k}{2p} - 1,$$

где: y — число пластин коллектора между двумя отмеченными,

k — число пластин коллектора,

$2p$ — число полюсов машины,

измеряют сопротивление между отмеченными пластинами, как указано в гл. II, § 13.

Например: число пластин — 80, число полюсов 4:

$$y = \frac{80}{4} - 1 = 19.$$

Обозначив какую-либо пластину первой, делают измерение сопротивлений между ею и 21-й пластиной.

Число пластин может не делиться на число полюсов; тогда y будет целое число с дробью; например, число пластин — 81, $y = 20\frac{1}{4}$.

В этом случае делаются два измерения: для $y=19$ и $y=20$ и берется среднее значение (измерение будет между первой и 21-й и между первой и 22-й пластинами).

При измерении все щетки должны быть подняты. Ток подводится с помощью щупов. Нужно следить, чтобы щуп не попадал на две смежных пластины. Рекомендуется те пластины, на которых ставятся щупы, отметить краской или керном на торце. Делается это для того, чтобы не попасть при повторных измерениях на другие пластины, сопротивление между которыми может быть несколько иным.

Следует отметить, что изложенный способ не дает истинного значения сопротивления якоря и пригоден только для определения нагрева по изменению сопротивления.

Если машина имеет полное число уравнительных соединений, то можно применить способ, предложенный инженером В. К. Жаковым. На коллекторе отмечаются пластины на расстоянии, определенном, как изложено выше (y при обмотке с полным числом уравнительных соединений обязательно будет целым числом). Затем с помощью одной пары щупов подводится ток к двум пластинам, находящимся на указанном расстоянии, и с помощью другой пары щупов измеряется падение напряжения на этой паре пластин и на всех других, состоящих на таком же расстоянии, считая от первой. На рис. 61 дана схема этого опыта. Ток подан в первую и седьмую пластины, напряжение измеряется между:

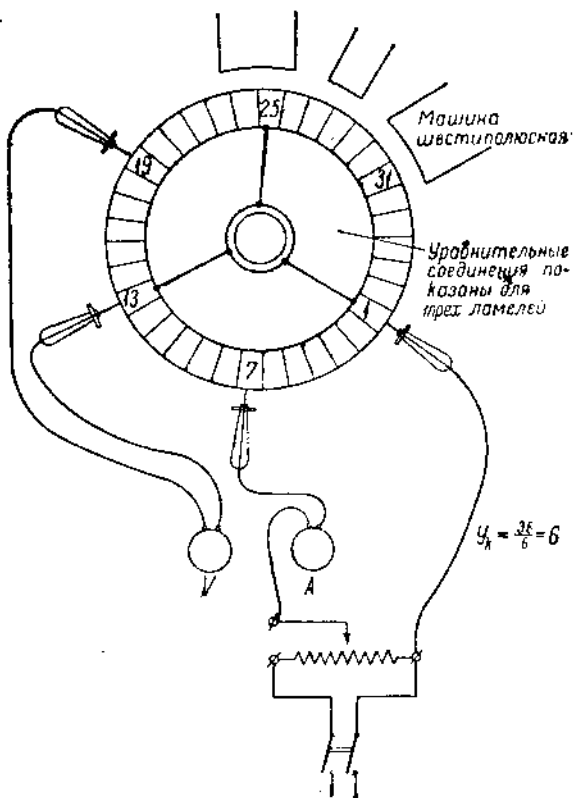


Рис. 61. Измерение сопротивления обмотки якоря, имеющей полное число уравнительных соединений.

$$\begin{aligned}
 1 \text{ и } 7 &= U_1 \\
 7 \text{ и } 13 &= U_2 \\
 13 \text{ и } 19 &= U_3 \\
 19 \text{ и } 25 &= U_4 \\
 25 \text{ и } 31 &= U_5 \\
 31 \text{ и } 1 &= U_6
 \end{aligned}$$

Как видим, измерений столько же, сколько полюсов. Сопротивление якоря подсчитывается по формуле:

$$R = \frac{U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_{2p}}{2p \cdot I} = \frac{U_{cp}}{I}, \quad (41)$$

где: R — сопротивление якоря,

$U_1, U_2, \dots, U_{2p}$ — измеренные напряжения (U_{2p} — последнее измер.),

$2p$ — число полюсов,

I — сила тока по амперметру.

Ориентировочные значения сопротивления обмотки якоря могут быть определены по формуле:

$$R \approx 0,03 \frac{U}{I}, \quad (42)$$

де: R — сопротивление якоря (ом),

U — номинальное напряжение машины (вольт),

I — номинальный ток машины (ампер).

Измерение сопротивления обмоток машин переменного тока. Здесь также пользуются способом амперметра и вольтметра, описанным в гл. II. Так как в большинстве машин концы фаз присоединены к клеммам, то можно обойтись без щупов, поджав провода от амперметра и вольтметра под клеммы. Этим избегается колебание стрелок от непостоянного контакта, который часто имеет место при пользовании щупом, благодаря загрязненной контактной поверхности и непостоянному нажиму на щупы. Для каждого сопротивления делается, по меньшей мере, три отсчета, как это было описано выше, и берется среднее значение.

Сопротивление измеряется в каждой фазе отдельно. Сопротивления всех фаз должны быть одинаковы. Неравенство сопротивлений вызывает неравномерный нагрев обмотки и может быть следствием виткового замыкания или плохих паяк. То и другое требует устранения. Ориентировочные значения сопротивления одной фазы обмотки могут быть подсчитаны по формуле (42). При этом нужно вместо U подставлять номинальное фазное напряжение и вместо I — нормальный ток фазы. Для крупных машин вместо коэффициента 0,03 следует воспользоваться значениями, приведенными в табл. 13, в последней графе.

Если сопряжение фаз сделано внутри обмотки (что всегда бывает в фазных роторах), то измерить сопротивление каждой фазы в отдельности нельзя. В этом случае поступают так: измеряют сопротивления между каждыми двумя выведенными концами фаз. Каждое такое измерение дает сопротивление двух последовательно включенных фаз (представьте себе путь тока от одной клеммы к другой при сопряжении обмотки в звезду). Очевидно, эти измерения будут проделаны между I и II, II и III, III и I концами, если их так условно обозначать. Для нас достаточно, чтобы все три измерения дали равные сопротивления.

Если же необходимо знать сопротивление каждой фазы в отдельности, то можно подсчитать по формулам¹⁾:

$$\begin{aligned} R_{III} &= \frac{R_{III, II} + R_{III, I} - R_{I, II}}{2}, \\ R_{II} &= \frac{R_{II, III} + R_{II, I} - R_{I, III}}{2}, \\ R_I &= \frac{R_{I, II} + R_{I, III} - R_{II, III}}{2}, \end{aligned} \quad (43)$$

где: R_I, R_{II}, R_{III} — сопротивления фаз, концы которых обозначены I, II, III ,
 $R_{I, II}, R_{II, III}, R_{III, I}$ — сопротивления, измеренные между концами фаз I, II и III .

Иногда встречаются асинхронные двигатели не с латунными кольцами, а с чугунными. В этих роторах сопротивление кольца может составлять заметную часть сопротивления обмотки, поэтому при измерении сопротивления щупы нужно ставить не на кольца, а на контактные пружины.

При измерении сопротивления обмоток больших роторов полезно проверить пайки соединительных проводов между обмоткой и кольцами. Для этого при измерении сопротивления обмотки подводят ток к кольцам (предварительно оголив пайки соединительных проводов к обмотке), держат щупы вольтметра в месте пайки на меди обмотки так чтобы место пайки оказалось между щупами, и измеряют переходное падение напряжения в пайке. По измеренному напряжению и току, протекающему через пайку определяют сопротивление пайки согласно формуле (17). Если измеренные таким образом сопротивления отдельных паяк невелики (порядка долей % от сопротивления одной фазы) и мало разнятся между собой, то пайка в порядке. Если же сопротивления намного больше указанной величины и между собой разнятся больше, чем в два раза, то нужно перепаять пайки с большим сопротивлением. Так как сопротивления паяк обычно малы, то в большинстве случаев приходится пропускать через обмотку постоянный ток номинального значения. При этих измерениях падение напряжения неизвестно заранее, поэтому нужно иметь милливольтметр с несколькими пределами измерений и начать измерение, поставив вольтметр на большой предел измерений и уже затем переходить к меньшим до тех пор, пока стрелка не будет давать значительные отклонения.

§ 6. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ.

Следующим этапом подготовительных испытаний является измерение сопротивления изоляции. Необходимость проверки изоляции относительно корпуса вызывается следующим обстоятельством. Корпусное соединение какой-либо точки обмотки не представляет опасности само по себе и, во всяком случае, не нарушает режима работы машины (за исключением крупных генераторов, работающих на линии передачи).

¹⁾ Справедливо для сопряжения фаз в звезду.

Но при этом между корпусом и другими частями обмотки возникает напряжение, и если в изоляции имеются слабые места, то они могут быть пробиты. При проверке сопротивления изоляции наличие слабых мест в значительной мере обнаруживается. Это обстоятельство делается особо важным в тех машинах и установках, в которых один полюс заземляется; такими как раз в большинстве случаев являются машины высокого напряжения, трехпроводные машины постоянного тока с заземленным нулевым проводом и т. д.

Первоначально сопротивление изоляции измеряют между всей схемой соединений и корпусом, и если сопротивление изоляции удовлетворительно, то на этом заканчивают. Если же оно низко, то ищут слабое место. Для этого разъединяют все обмотки, поднимают щетки и измеряют сопротивление изоляции каждой обмотки.

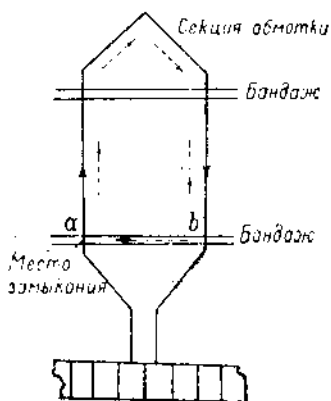


Рис. 62. Плоскими стрелками показано направление э. д. с. в секции обмотки.

Если имеется замыкание в точке *а*, то в случае пробоя в точке *б* секция обмотки будет замкнута накоротко бандажом и в ней будет протекать ток, как показано пунктирными стрелками.

При измерении, сопротивление изоляции может оказаться значительно ниже необходимой величины (см. гл. II). Следует прежде всего убедиться в том, что нет случайных замыканий; наиболее частыми являются: касание жгутиков щетки к корпусу и пыль, соединяющая открытые контакты с корпусом. Причиной плохой изоляции может служить влажность изоляции. В этом случае машину сушат. Но если даже изоляция и достаточно высока, но машина долго бездействовала, или перевозилась в другое место, или подвергалась действию сырости, то сушку все равно следует производить. Иначе при быстром нагреве, под нагрузкой, влага начнет испаряться, выходящий пар может разрушить изоляцию и создать путь для ее пробоя.

В машинах постоянного тока измеряют сопротивление изоляции между следующими частями:

1. Обмоткой основных полюсов и корпусом.
 2. Обмоткой добавочных полюсов и корпусом.
 3. Последовательной обмоткой возбуждения и корпусом.
 4. Коллектором и корпусом, что является одновременно измерением между обмоткой якоря и корпусом, так как любая точка обмотки якоря соединена всегда с коллектором.
 5. Траверзой с приключенными к ней соединительными проводами и корпусом.
 6. Бандажами на коллекторе и коллектором.
 7. Если машина двухколлекторная, — между обоими коллекторами.
- Последние два измерения производятся и в том случае, если изоляция машины относительно корпуса удовлетворительна.

Рис. 62 поясняет необходимость проверки бандажа относительно обмотки. Если имеется замыкание в точке *а*, то в случае пробоя в точке *б* часть обмотки оказывается замкнутой бандажом накоротко. Но ему ток пойдет, как показано пунктирной стрелкой. Обмотка

сгорит. Следует, однако, иметь в виду, что в некоторых машинах, в особенности в старых машинах Сименс-Шуккерт, бандаж используется в качестве уравнительных соединений, и в этом случае сопротивление изоляции между обмоткой и бандажом равно нулю.

Все измерения записываются в протокол испытаний. Способы и правила измерения сопротивления изоляции указаны во второй главе.

Если машина переменного тока имеет три вывода, это значит, что сопряжение фаз сделано внутри машины, и в этом случае приходится измерять сопротивление изоляции всей обмотки по отношению к корпусу. Если же обмотка имеет 6 выводов, следует их все разъединить и измерить сопротивление изоляции каждой фазы относительно корпуса и между фазами (между 1 и 2, 2 и 3, 3 и 1).

Для измерения сопротивления изоляции ротора нужно поднять щетки и произвести измерение отдельно для обмотки ротора и щеток.

В машинах переменного тока (особенно в турбогенераторах) в вале машины может индуцироваться э. д. с. (в отдельных случаях до 30—40 В), которая создает ток, замыкающийся через подшипники и фундаментную плиту. Этот ток называют подшипниковым током. Он может достигать нескольких десятков ампер и даже выше.

Проходя от шейки вала к вкладышу и наоборот, он разъедает их поверхность и разлагает масло, которое в свою очередь начинает разъедать вал и вкладыш.

Для того, чтобы устранить эти токи, между стояком подшипника и фундаментной плитой прокладывается лист изоляционного материала толщиной 0,3—1,5 мм. Прокладки ставятся со стороны, противоположной приводу. При осмотре машины необходимо убедиться в наличии этих прокладок. Прокладки показаны на рис. 63.

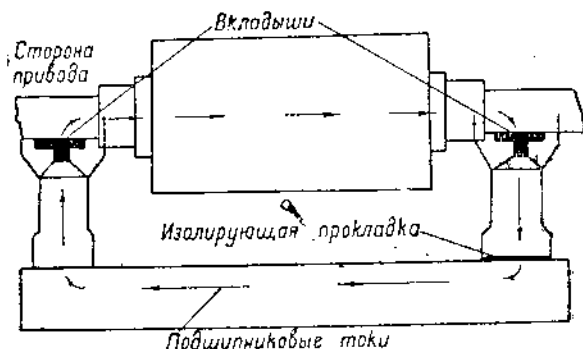


Рис. 63. Изолирующая прокладка между фундаментной плитой и стойкой подшипника в турбогенераторе.

§ 7. ПРОВЕРКА ОБМОТОК.

Обычно проверка обмоток производится в том случае, если имеются сомнения в исправности обмотки, или если машина испытывается впервые после изготовления. Основным способом проверки является способ измерения сопротивления.

Концы обмоток на щитке клеммовой коробки нужно разъединить, щетки поднять и после этого приступить к проверке.

Машины постоянного тока. Проверка якоря. Измеряется сопротивление между каждой парой смежных пластин коллектора. Измерение делается способом амперметра и вольтметра (см. гл. II, § 13 — «Измерение сопротивления»). Это измерение можно объединить с измерением сопротивления якоря (см. выше).

Если обмотка в порядке, то при отсутствии уравнительных соединений все сопротивления будут равны. При наличии неполного числа уравнительных соединений — сопротивления имеют разные значения, например: первое и второе, четвертое и пятое, седьмое и восьмое и т. д. измерения равны, а третье, шестое, девятое и т. д. меньше, но равны между собой.

Если сопротивление между какой-либо парой пластин окажется меньше других, то внутри секции, к ним присоединенной, имеется замыкание между витками или между пластинами; в этом случае внимательный осмотр коллектора может обнаружить такое замыкание. Если же сопротивление выше других, то секция имеет обрыв: если

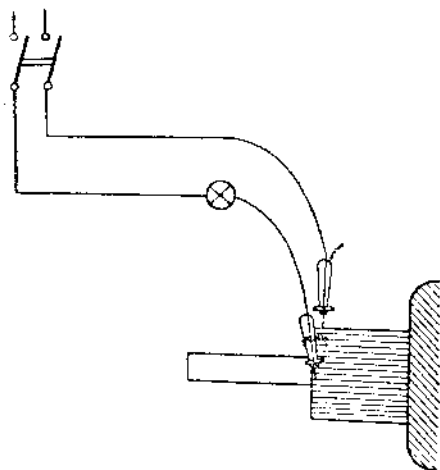


Рис. 64. Проверка обмотки якоря с помощью лампочки.

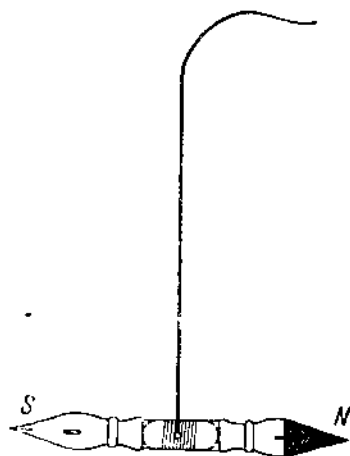


Рис. 65. Магнитная стрелка из перьев.

оно очень велико или равно бесконечности, то следует искать обрыв соединительного провода между обмоткой и пластиной коллектора.

В маленьких машинах наиболее часты обрывы соединительных проводов между обмоткой и коллектором. Если требуется проверить только это, то более просто воспользоваться лампой, как показано на рис. 64. Один щуп все время прикасается к одной пластине, а другой поочередно ко всем остальным; лампа горит на всех пластинах (так как все они соединены через обмотку), кроме той, к которой присоединен оборванный провод.

Проверка обмотки основных полюсов. Проверка шунтовой обмотки делается двоякая: на витковое замыкание и на правильную полярность.

Витковое замыкание определяется следующим способом: все катушки шунтовой обмотки соединяются последовательно (даже если они для нормальной работы соединены иначе); в них дают примерно 10% номинального тока возбуждения и измеряют падение напряжения на выводах каждой катушки (для чего места соединения катушек оставляют неизолированными). При исправности катушек, падения напряжения на всех них должны быть одинаковы. В случае неравенства падений напря-

жения, следует предполагать витковое в той катушке, на которой напряжение меньше. Допустимая разница напряжения 1—3% того напряжения, которое приходится на каждую катушку. Нужно оговориться, что причина неравенства напряжения может быть не в витковом замыкании, а в разном количестве витков. Напряжение будет больше на той катушке, в которой витков больше. Этот способ не является вполне точным; замыкание нескольких витков при общем их большом количестве может остаться необнаруженным; но замыкание такого количества витков на работе машины не сказывается. Проверить более точно можно, включив шунтовую обмотку на переменный ток. Напряжение переменного тока должно быть равно при вынутом якоре десятикратному номинальному напряжению обмотки. Если имеется витковое замыкание, то замкнутые витки очень быстро начнут дымить и будут, конечно, попорчены, что является недостатком такой проверки.

Закончив проверку, нужно восстановить первоначальное соединение, включить обмотку на нормальное напряжение, и магнитной стрелкой проверить полярность. Для этой цели может служить компас, а за неимением его — стрелка, сделанная из перьев. Два одинаковых пера нужно скрепить вместе и подвесить за середину на нити, как показано на рис. 65. Для намагничивания нужно эту стрелку поднести одним концом к сильному магниту, хотя бы к полюсу машины. Если этот полюс северный (N), то поднесенный конец стрелки будет обладать южной полярностью (S). Северный конец стрелки (N) нужно зачернить.

При проверке обмотки возбуждения, стрелку следует подносить к полюсам медленно и со значительного расстояния, во избежание ее перемагничивания. Если машина открытого типа, то лучше подносить к башмакам полюсов, если же закрытого — то можно к головке болта, крепящего полюс к яркому.

Второй способ, более надежный, заключается в следующем: нужно на полоске тонкого прессшпана наклеить шеллаком или пришить нитками один или два витка из изолированной проволоки, и вывести концы гибким проводничком, и этими концами виток приключить

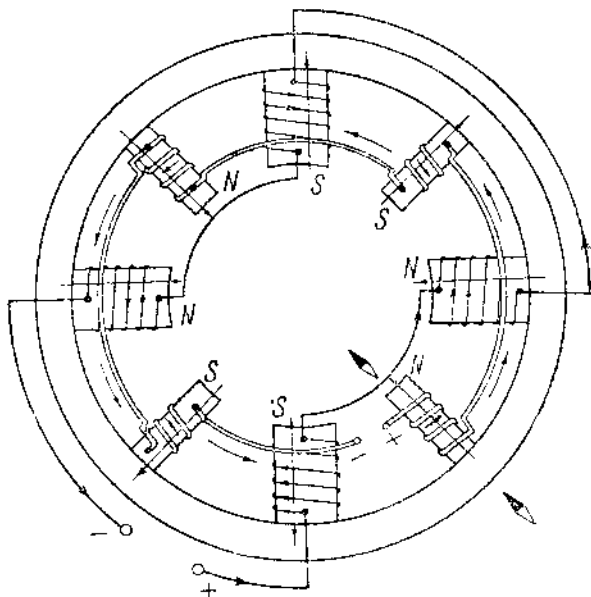


Рис. 66. Направление тока в обмотке и полярность полюсов в машине постоянного тока.

к милливольтметру постоянного тока. Так же, как и в предыдущем способе, в обмотку возбуждения дается ток. Виток медленно вдвинуть между якорем и полюсом и затем быстро выдернуть, при этом стрелка прибора броском отклонится в какую-либо сторону и вернется на нуль. То же проделать под вторым полюсом; если он имеет другую полярность (как и должно быть), стрелка отклонится в другую сторону от нуля. Под следующим полюсом отклонение должно быть опять в прежнюю сторону, и т. д. Переноса виток из-под одного полюса под другой, нельзя его переворачивать; если он под первым полюсом будет обращен протиспаном к якорю, то и под остальными должно быть то же самое.

В крупных машинах открытого типа правильность соединений можно проследить внешним осмотром. На рис. 66 дана схема соединений, где обозначено: направление обмотки на полюсах, направление тока и получающееся при этом направление магнитного поля (определенное согласно правилу буравчика).

Проверка добавочных полюсов. Проверку соединений добавочных полюсов легко произвести по наружному осмотру. Поряд-

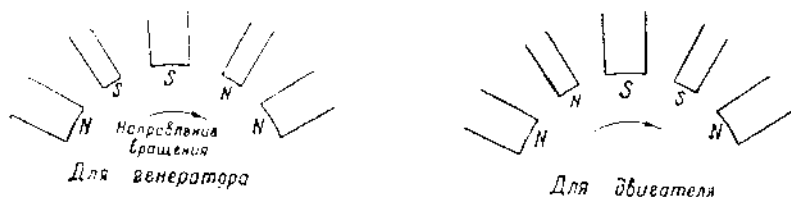


Рис. 67. Чередование основных и добавочных полюсов.

док соединения их между собой такой же, как и для главных полюсов, и виден на рис. 66. Способ правильного подсчета числа витков на добавочных полюсах указан ниже (см. гл. V, § 5).

Если внешний осмотр осуществить трудно (а проверка должна быть совершенно точная), то нужно проверку делать так же, как и для основных полюсов, т. е. стрелкой или витком. Затруднение здесь возникает в том, что для питания добавочных полюсов нужен значительный ток (около 5% номинального тока якоря), и соответствующий ему реостат, так как дополнительные полюса имеют ничтожное сопротивление. Удобнее всего производить эту проверку при нагрузке машины или в опыте короткого замыкания, когда по дополнительным полюсам течет значительный ток. Часто при приближении стрелки к болту, крепящему добавочный полюс, стрелка не дает отклонений одним концом, а приближается обоими; происходит это потому, что поле у болта слабо. Поэтому надежнее производить проверку осторожно, поднося стрелку к башмаку полюса, и следя за тем, чтобы ее нехватило вращающимся якорем.

Проверка соединений катушек последовательной обмотки такая же, как и дополнительных полюсов.

После проверки соединений катушек каждой обмотки, их соединяют для нормальной работы.

Включение добавочных полюсов. Добавочные полюса соединяются последовательно с якорем внутри машины: один конец

обмотки добавочных полюсов присоединяется к одной из собирательных шин траверсы, а оставшийся свободным конец обмотки добавочных полюсов и вторая шина выводятся в клеммовую коробку. Делается это потому, что при любых условиях не потребуется и нельзя делать никаких переключений между якорем и дополнительными полюсами, если они однажды правильно включены. Здесь даны следующие способы для правильного включения добавочных полюсов к якорю:

1. Машину пускают двигателем или генератором под некоторой нагрузкой, включив добавочные полюса наугад. Если они включены неверно — машина сильно искрит при маленькой нагрузке, и перестает искрить, если переключить концы добавочных полюсов (или же искрит значительно меньше).

2. Машину пускают двигателем или генератором, и определяют порядок чередования основных и добавочных полюсов в зависимости от направления вращения. Добавочные полюса должны чередоваться с основными, как показано на рис. 67 для двигателя и генератора в зависимости от направления вращения. Полярность можно определить или по осмотру или магнитной стрелкой, как говорилось выше. Для того, чтобы добавочные полюса создавали магнитное поле, машину следует нагрузить. Рекомендуется при проверке соединений каждой обмотки на концах ее привязать бирку с обозначением $+$ и $-$, и на листе бумаги сделать эскиз полюсов с обозначением получившейся полярности.

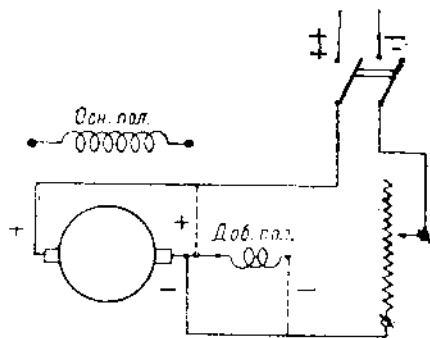


Рис. 68. Проверка полярности добавочных полюсов.

3. Маленькую машину можно пустить двигателем на одних только добавочных полюсах (как сериес-двигатель), выключив шунтовую обмотку и подав в цепь якоря и добавочных полюсов ток от источника постоянного тока через реостат достаточного сопротивления. Если при щетках, сдвинутых с нейтрали, машина будет вращаться в том же направлении, в каком сдвинуты щетки, то добавочные полюса включены верно. Если же они включены неверно, то машина пойдет в обратную сторону.

4. Можно также сделать следующее: в якорь подается постоянный ток (рис. 68), не выше 10% номинального. В зазор под добавочный полюс кладется виток из тонкой проволоки. Рубильником включают и выключают ток, и замечают, в какую сторону отклонится стрелка милливольметра, соединенного с витком. Затем переносят питание, как показано пунктиром, на обмотку добавочных полюсов, и продельвают то же самое. Если отклонение при размыкании в обоих случаях в разные стороны, то добавочные полюса включены верно. Виток в течение всего опыта не перемещают.

Асинхронные и синхронные машины. Проверка обмоток этих машин заключается в обнаружении виткового замыкания, обрыва, замыкания между обмотками и правильного взаимного сопряжения фаз.

Витковое можно обнаружить по неравенству сопротивлений фаз или же возбуждив машину на холостом ходу, как это описано ниже в параграфе „Пробный пуск“. При наличии виткового машина начнет дымить.

Обрыв определяется при измерении сопротивления (бесконечно большое сопротивление). Помимо того фаза, имеющая обрыв, не развивает напряжения во время работы машины.

Замыкание между фазами обнаруживается по низкому сопротивлению изоляции между фазами. Во время работы машины она начнет дымить, как только ее начнут возбуждать (при наличии сопряжения в звезду или треугольник).

Проверка правильности соединения фаз между собой производится во время пробного пуска, как это описано ниже.

Проверка обмотки возбуждения синхронной машины производится так же, как и обмотки возбуждения машин постоянного тока.

§ 8. ПОДГОТОВКА КОЛЛЕКТОРА, КОЛЕЦ И ЩЕТОЧНОГО ХОЗЯЙСТВА.

Коллектор. В настоящее время советским и иностранным опытом установлено, что одной из самых частых и злокачественных причин искрения является выступающая между пластинами слюда. Если слюда выступает над поверхностью пластин, то во время работы машины щетки подпрыгивают, контакт нарушается, результатом чего является искрение. Выступающая слюда обнаруживается, если провести ногтем по коллектору, а также по обгоранию пластин во время работы. Часто слюда начинает выступать только после продолжительной работы, и машины, спокойно работавшие при испытании, начинают искрить в эксплуатации. Поэтому в машинах с окружной скоростью коллектора выше 10 м/сек продоразивают коллектор. Чтобы не вычислять окружную скорость, можно обойтись простой формулой:

$$D \times n \geq 200, \quad (44)$$

Рис. 69. Скребок для продоразивания коллектора.

где: D — диаметр коллектора в метрах,

n — число оборотов в мин.,

т. е. если диаметр коллектора в метрах, умноженный на число оборотов в минуту равен или больше 200, то коллектор должен быть продоразивен.

Наиболее простым инструментом для продоразивания является скребок, изображенный на рис. 69; изготовить его можно из полосовой стали или ножовочного полотна. Выскребывать слюду пужно двигая скребок к себе. Работу эту следует делать очень осторожно, чтобы не поцарапать коллектор. После продоразивания не должно остаться заусениц на краях пластин; если они имеются, то нужно снять их той частью скребка, которая заточена как шабер. Глубина дорожки 1—2 мм.

Дорожка показана на рис. 70.

Для продоразивания применяется также специальная фреза, которая здесь не описывается.

Шлифовка коллектора. По окончании продоразивания коллектор нужно отшлифовать. Делать это можно стеклянной бумагой марки 000,

пемзой или наждачным кругом. Щетки нужно поднять, и машину вращать, желательно с нормальной скоростью. В крупных машинах для этого часто служит специально поставленный под ремень двигатель, для того чтобы не включать двигатель, сцепленный с испытуемой машиной; шкивом служит муфта. Можно также пустить машину двигателем, сняв часть щеток (бракетов), для того чтобы они не мешали. Очень удобны для шлифовки машины со двоянным коллектором: на одной половине коллектора расставляются щетки и машина работает от нее двигателем, вторая половина шлифуется; после шлифовки одной половины, их меняют ролями.

Шлифованный коллектор должен иметь гладкую, блестящую поверхность, как у никелированных изделий. Если шлифуется коллектор с подгоревшими пластинами, то сперва нужно шлифовать крупной бумагой, а затем мелкой. Шлифовать, прижимая бумагу пальцами, не рекомендуется; поверхность коллектора при этом будет волнообразная.

Для шлифовки пемзой, нужно брать ее свободной от примеси твердых частиц, и во всяком случае, сначала осторожно испробовать на коллекторе, не дает ли она царапин; затем придать ей прямоугольную форму, и плоской поверхностью очень легко прижимать к коллектору; пемза скоро примет форму коллектора, тогда ее нужно водить вдоль по коллектору. Желательно пемзу зажать в суппорт, как это описано ниже для наждачного камня.

Очень хорошую шлифовку дает способ, показанный на рис. 71.

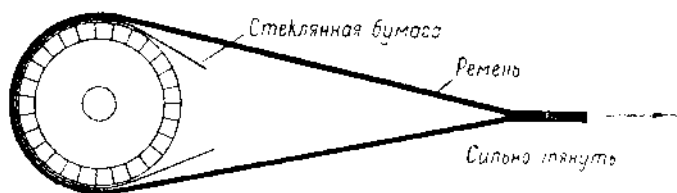


Рис. 71. Полировка коллектора с помощью ремня.

Ремень нужно передвигать вдоль по коллектору, бумагу крепить к ремню не требуется, она держится сама. Ремень должен быть сильно натянут.

Для шлифовки сильно подгоревших коллекторов можно применить алундовый круг средней твердости (шероховатость 36—40). Круг должен вращаться с большой скоростью, будучи укреплен вместе со своим мотором на переносном суппорте, который служит обычно для обточки коллекторов. Обычно эту шлифовку поручают токарю; но если придется шлифовать самому, то следует позаботиться об установке суппорта так, чтобы не сошлифовать коллектор на конус. Шлифовочный круг и коллектор должны вращаться навстречу друг другу так, как показано на рис. 72. При шлифовке нужно брать очень мел-

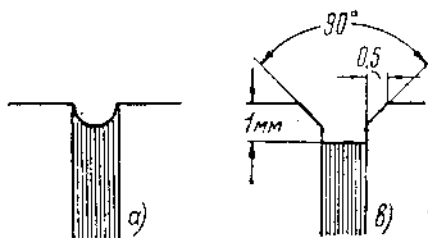


Рис. 70. Форма дорожки коллектора *a* — нежелательно, *b* — желательно.

кую стружку-пыль и проходить коллектор по длине несколько раз. Можно также зажать в суппорт наждачный камень. При шлифовке с наждачным камнем, суппорт должен быть очень жестко закреплен, не должен быть разболтан, и вал машины должен быть прижат на подшипник в сторону коллектора. Если этого не сделать, то благодаря разбегу якоря легко задеть петушки и тем повредить их.

Способ шлифовки наждачным камнем дает прекрасные результаты, если имеется эксцентричность коллектора и выступание пластин, так как коллектор при этом не только шлифуется, но и обтачивается. Это особенно важно для быстроходных машин. Опыт завода „Электро-сила“ позволяет рекомендовать этот способ.

Совершенно недопустимо шлифовку производить напильником, в особенности у тихоходных машин, так как от пилы коллектор из правильного цилиндра превращается в многогранник.

Перед шлифовкой якорь и все обмотки нужно закрыть бумагой для предохранения от медной пыли, а после шлифовки тщательно продуть всю машину.

В случае необходимости производить обточку коллектора резцом, следует поручить эту работу опытному токарю.

Обточка колец делается с помощью переносного суппорта, предназначенного для обточки коллекторов. Для того чтобы поверхность колец была гладкой, нужно их обтачивать закругленным резцом. Затем нужно зажать в суппорт ровную деревяшку, обернуть ее стеклянной бумагой и отшлифовать кольца. Полезно после этого еще отполировать их замшей. Особого внимания требуют кольца турбогенераторов, так как они работают при больших окружных скоростях.

Установка щеткодержателей. По окончании шлифовки нужно расставить щеткодержатели по окружности и вдоль коллектора. По окружности они должны быть в таком положении, чтобы щетки приходились примерно под серединами главных или добавочных полюсов. Определить то или иное положение можно по виду лобовых соединений якоря. На рис. 73 дан вид лобовых соединений и соответствующее правильное положение щеток.

По виду лобовых соединений можно также судить о характере обмотки. Рис. 73 дает вид лобовых соединений для волновой обмотки и петлевой обмотки.

У машин без добавочных полюсов, щетки нужно сдвинуть примерно на $\frac{1}{5}$ полюсного деления, по вращению для генератора и против вращения для двигателя.

Расстояния между щетками по окружности коллектора должны быть одинаковыми. Допустимое отклонение должно быть не больше $\frac{1}{4}$ ширины пластины, и во всяком случае не более 2 мм. Для проверки нужно коллектор обернуть полосой белой бумаги, плотно ее натянув, опустить щетки и провести острым карандашом вдоль их краев черту на бумаге. Расстояния между чертами должны быть одинаковы; в противном случае обязательно нужно регулировать brackets и щеткодержатели подкладками, спиливанием, наклонением или другим

способом в зависимости от конструкции. Край щеток, расположенных на одном brackets, должны приходиться вдоль по краю пластины, не выступая вперед или назад.

Это правило не относится к тем случаям, когда для увеличения ширины зоны коммутации применяется ступенчатое расположение щеток, показанное на рис. 74.

Щетки должны быть расположены так, чтобы коллектор изнашивался по возможности равномерно. При этом следует иметь в виду

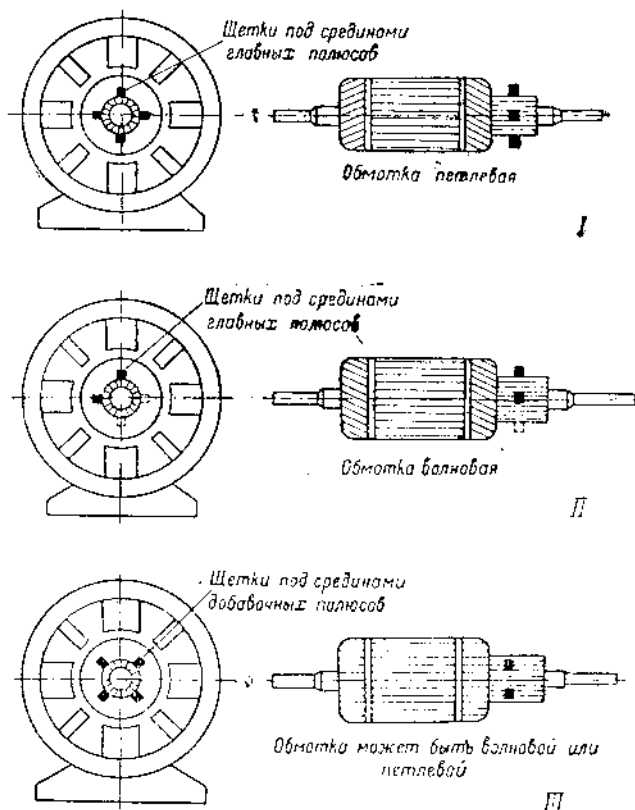


Рис. 73. Расположение щеткодержателей в зависимости от типа обмотки.

правильное и неправильное расположение щеточных групп (рис. 75). Износ коллектора различен под щетками различной полярности. Например, при расположении, как показано на рис. 75, край коллектора с одной стороны движется под щетками только одной полярности, а другой край коллектора под щетками другой полярности, что приводит к неравномерному износу коллектора.

Расстояние нижней кромки щеткодержателя до коллектора должно быть 2,5 мм. Все остальные части щеткодержателя должны быть достаточно удалены от коллектора и других частей машины, это очень важно для высоковольтных машин, от 500 В и выше.

Щеткодержатели делятся в основном на два типа: радиальные и реактивные (см. рис. 76). В радиальных щеткодержателях щетки прилегают к коллектору хуже, в особенности, если он бьет или имеет дефекты на поверхности; но они всегда ставятся там, где требуется перемена направления вращения. В реактивных же щеткодержателях щетки прилегают гораздо лучше, но они пригодны только для одного

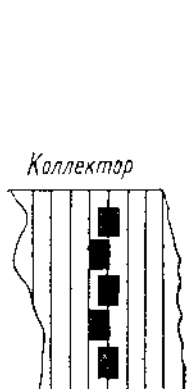


Рис. 74. Расположение щеток для увеличения зоны коммутации.

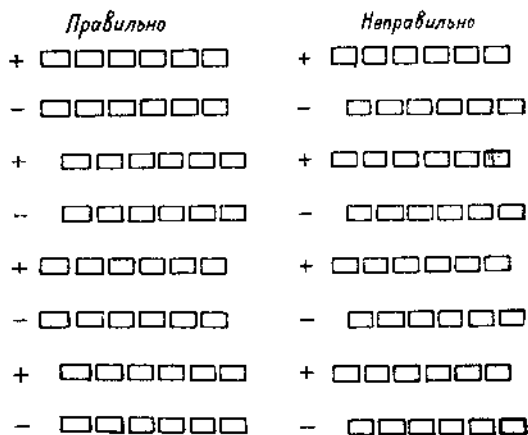


Рис. 75. Расположение щеток на коллекторе.

направления вращения, показанного на рис. 76. Если же его переменить, то коллектор стремится вытащить щетку из щеткодержателя, щетка нажимает на бракет, и в конце концов ломается, а если щеток много, то может сломаться и бракет.

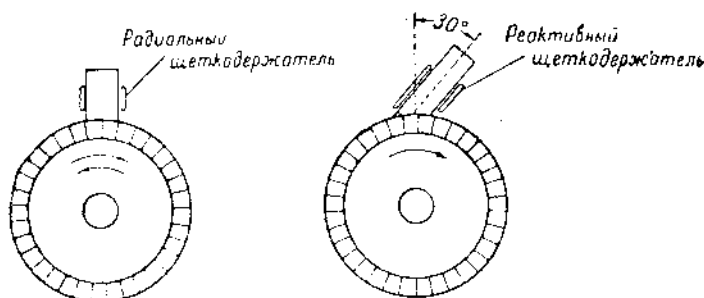


Рис. 76. Радиальный и реактивный щеткодержатели.

Некоторые фирмы выпускают щеткодержатели с небольшим наклоном (до 20°) по ходу коллектора.

Щеткодержатели должны быть сами очень жесткими и жестко сидеть на бракетах.

При окончании расстановки щеткодержателей производится подбор и притирка щеток. Щетка должна быть тщательно притерта по размеру щеткодержателя, ходить свободно, но без слабости. Как уже

говорилось, будучи вложенной вместе с полоской бумаги, должна входить туго. Притирать на крупной стеклянной бумаге, положив ее на ровное место.

К коллектору щетки притираются двумя способами: вручную или вращением коллектора. При притирке вручную необходимо следить за тем, чтобы бумага двигалась, прилегая к поверхности коллектора, как показано на рис. 77; в противном случае края щетки будут „завалены“. Вначале стеклянную бумагу можно протягивать в обе стороны, в последние же разы нужно щетку нажимать, когда бумага идет в сторону вращения, и поднимать щетку, когда бумага идет в обратную сторону. Этим достигается то, что щетка прилегает всей поверхностью к коллектору. Также нужно притирать щетки для реверсивных машин. Если машина не очень велика, то при наличии продорожки коллектора полезно его проворачивать слегка во все время притирки щеток, так как при неподвижном коллекторе под дорожками на щетках образуются незаметные на-глаз выступы, которые при работе машины вызывают дрожание щеток и связанное с ним искрение; это особенно важно для очень быстроходных машин.

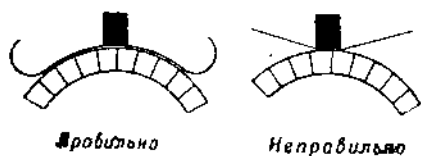


Рис. 77. Притирка щеток вручную.

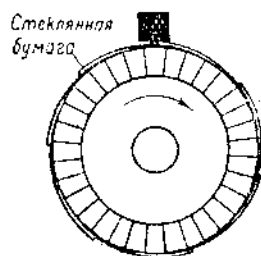


Рис. 78. Притирка щеток на ходу машины.

По второму способу коллектор оборачивается полосой стеклянной бумаги (а еще лучше — полотна), вырезанной из одного куска или склеенной из нескольких кусков. Полотно крепить не требуется, оно держится трением само, нужно только, чтобы часть, которая покрыта внахлест, была больше расстояния между соседними bracketами. Бумагу нужно накладывать, как показано на рис. 78. Станину и якорь закрывают бумагой. Щетки опускают и дают им нормальный нажим. Машину вращают на малых оборотах. Для того чтобы стеклянная бумага вращалась вместе с коллектором, ее нужно вначале подтолкнуть руками; затем она пойдет сама и будет держаться на коллекторе. Нужно следить, чтобы все щетки стирались одинаково и всей поверхностью.

По окончании притирки нужно продуть коллектор и всю машину, щетки опустить на место и отрегулировать на всех нажим с помощью динамометра. Для того чтобы это сделать, нужно опустить щетку и дать ей нажим, затем зацепить крючок динамометра за то место щеткодержателя, которое нажимает на щетки, и тянуть динамометр. Указатель динамометра двигается до определенного деления, после которого динамометр оттягивает пружину щеткодержателя. Это деление и указывает давление щетки на коллектор. Динамометром могут служить пружинные весы (безмен).

Нажим щеток должен быть от 100 до 300 Г/см² поверхности прилегания щетки к коллектору. Например, щетка 20 × 30 мм имеет 6 см², следовательно, давление на нее должно быть 1200 Г, если давление на см² равно 200 Г. Давление должно быть тем больше, чем тверже щетки и быстрееходнее машина. Вообще же желательно не давать большой нажим. Чем больше нажим щеток, тем больше выделяется тепла на коллекторе от трения; но зато с увеличением нажима уменьшается переходное сопротивление между щетками и коллектором, и поэтому уменьшается количество тепла, которое выделяется в этом сопротивлении и также нагревает коллектор и щетки. Следовательно, нажим нужно регулировать не только так, чтобы щетки не искрились, но и чтобы коллектор возможно меньше нагревался. Рекомендуемые величины давлений на 1 см² поверхности контакта щеток различных марок приведены в табл. 14.

Нажим на все щетки должен быть одинаков, в противном случае распределение тока между щетками будет неравномерным, щетки будут искрить и разрушаться от перегрузки.

В том случае, когда размеры щеток почему-либо неизвестны, можно приблизительно определить их, исходя из следующего: для нормальных коллекторных пластин шириной 8—10 мм щетки должны перекрывать от 2 до 3 пластин. При ширине пластин большей 10 мм — от 1,7 до 2,5 пластин. При ширине пластин меньшей 6 мм — щетка может перекрывать до 4 пластин. Чем большее число пластин перекрывает щетка, тем хуже условия коммутации. Сечение щеток должно быть таково, чтобы плотность тока не была чрезмерной, поэтому ширину щеток следует подобрать хотя и возможно меньшей, но не перегружая щетки током.

Рабочая высота щетки (высота щеткодержателя) должна составлять не менее:

40%	при общей высоте щетки до 16 мм
50%	" " " " от 16 до 32 мм
60%	" " " " от 32 мм

Особое внимание следует обратить на арматуру щеток и качество контактов между жгутом и щеткой, собирательным кольцом и жгутами. Недостаточно хорошие контакты и плохая притирка щеток, повышающая переходное сопротивление щеток, вызывают неодинаковую нагрузку щеток, вследствие чего перегруженные щетки будут искрить.

Все изложенное в значительной части относится также и к работе щеток на контактных кольцах (машины переменного тока). В последнем случае щеткодержатели должны быть расставлены так, чтобы покрывать возможно большую поверхность кольца (в шахматном порядке), но притом так, чтобы щетки не выдвигались за край кольца при движении ротора в пределах его разбега.

§ 9. УСТАНОВКА ЩЕТОК НА НЕЙТРАЛЬ.

Правильным положением щеток при работе является такое их положение, когда при замыкании смежных пластин щеткой не возникает тока, замыкающегося поперек щетки. Таким положением для машин, имеющих добавочные полюса, является положение щеток на нейтральной

т. е. под серединой основных или добавочных полюсов, в зависимости от рода обмотки якоря, как показано на рис. 73. Положение щеток под добавочными полюсами встречается редко.

У машин, не имеющих добавочных полюсов, положение щеток зависит от режима работы машины и величины нагрузки. При работе генератором это положение соответствует сдвигу щеток по ходу относительно нейтрали. При работе двигателем сдвиг будет против хода. Сдвиг в обоих случаях тем больше, чем больше нагрузка. Машина должна работать без искрения и без передвижения щеток при изменении нагрузки от $\frac{2}{3}$ до номинальной. Сдвиг составляет примерно $\frac{1}{8}$ расстояния между двумя смежными основными полюсами и в каждом отдельном случае устанавливается по исчезновению искрения при нормальных условиях работы машины.

Ниже приводятся способы установки на „нейтраль“ для машин, имеющих добавочные полюса:

1. При изготовлении машины должны быть помечены два паза, в которые уложены стороны какой-либо секции обмотки, и пластины, к которым присоединена эта секция. При установке щеток на нейтраль, эти пазы помещают посредине дополнительных полюсов, а один ряд щеток ставят на те две пластины, к которым присоединена секция, лежащая в этих пазах так, чтобы слюда, находящаяся между этими пластинами, приходилась бы на середину щетки.

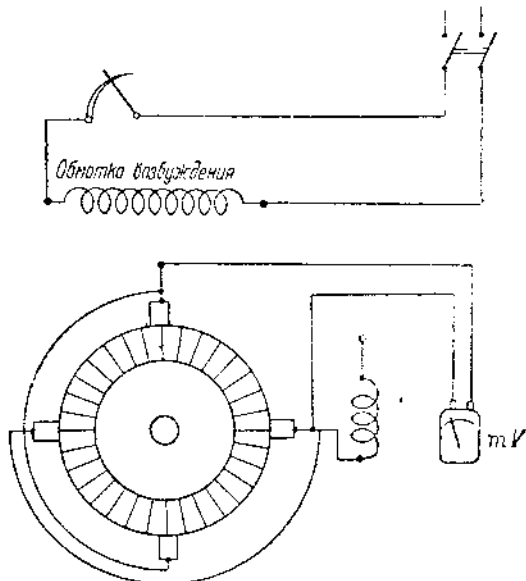


Рис. 79. Установка щеток на „нейтраль“ методом индукции при опущенных щетках.

2. Способ индукции. Собирается схема, показанная на рис. 79. В цепь возбуждения подается ток, величина которого устанавливается шунтовым реостатом и обычно не превышает $5—10\%$ номинального. Наиболее удобно воспользоваться для питания шунтовой обмотки батарей аккумуляторов на 4—8 вольт; в этом случае реостата не требуется. Якорь, как видно из схемы, отключен от шунтовой обмотки, и ток в него не подается. К двум смежным bracketам присоединен милливольтметр постоянного тока. Присоединять милливольтметр к выводным концам нельзя, так как влияние электродвижущих сил, которые индуктируются в обмотке добавочных полюсов и в особенности в последовательной обмотке, если таковая имеется, может сильно исказить опыт. Щетки должны быть предварительно тщательно притерты и шлифованы; для этого желательно некоторое время вращать машину на холостом ходу.

Замыкая и размыкая цепь возбуждения, будем индуктировать в якорь

электродвижущую силу, и милливольтметр будет давать отклонения: при замыкании — в одну сторону, при размыкании — в другую; последнее больше по величине, но менее продолжительно. Отклонение стрелки будет только в момент замыкания и размыкания, после чего стрелка будет возвращаться на нуль. Передвигая траверзу, нужно найти такое ее положение, при котором милливольтметр перестанет давать отклонения. Желательно проверить „нейтраль“ после многочасовой работы. Иногда не удается получить полное отсутствие отклонения стрелки, тогда нужно остановиться на наименьшем отклонении. Закрепив траверзу, нужно еще раз произвести проверку, потому что при наличии в ней слабину при закреплении стопорного болта она сдвигается.

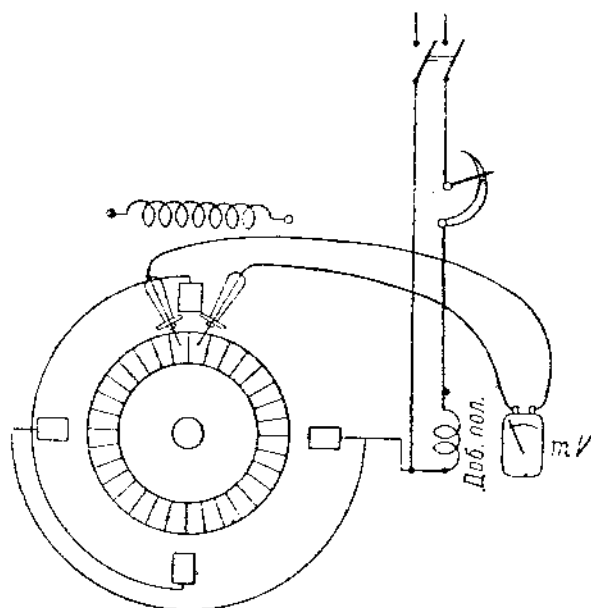


Рис. 80. Установка щеток на „нейтраль“ методом индукции при поднятых щетках.

На правильность определенной таким способом нейтрали сильно влияет качество притирки и прилегания к коллектору щеток, а также положение якоря. Иногда повторяют установку на нейтраль, повернув якорь, при этом траверзу приходится немного перемещать. Окончательно ее устанавливают в среднее положение между найденными оба раза положениями. Перед поворотом якоря милливольтметр нужно отключить, так как он может быть поврежден электродвижущей силой, индуцируемой в обмотке якоря остаточным магнетизмом.

3. Третий способ (предложен В. К. Жаковым), отличающийся значительно большей точностью, имеет сходство с предыдущим. Схема дана на рис. 80. Отличие здесь в том, что милливольтметр с помощью щупов присоединен к двум смежным пластинам, находящимся под каким-либо рядом щеток, причем эти щетки подняты. К этим пластинам присоединена секция, стороны которой находятся под серединой добавочных полюсов. Возбуждать нужно не шунтовую обмотку, а обмотку добавочных полюсов. Опыт ведется так же, как было описано в предыдущем способе, но двигать нужно не траверзу, а якорь, причем очень незначительно. При малейшем отклонении от нейтрали прибор дает отклонение стрелки. Когда нейтраль найдена, нужно повернуть траверзу, оставляя якорь неподвижным так, чтобы изоляция между пластинами, к которым были присоединены щупы, оказалась под серединой щетки, и в таком положении закрепить траверзу.

4. Более просто, и в большинстве случаев с удовлетворительной точностью, можно найти нейтраль следующим путем. Машину пускают двигателем при определенном напряжении, измеряют скорость и затем пускают при том же напряжении в обратную сторону, и снова измеряют скорость. Если скорости оказались неравными, траверзу нужно повернуть в сторону того вращения, при котором получилась меньшая скорость. Затем нужно опыт повторить и добиться такого положения траверзы, при котором для обоих направлений вращения скорость была бы одинакова. Во все время опыта ток в шунтовой обмотке должен оставаться неизменным, и никакая регулировка скорости током возбуждения недопустима.

5. Для реверсивных машин рекомендуется следующий способ. Машину нужно пустить в режиме короткого замыкания (см. ниже „Опыт короткого замыкания“) и менять направление вращения. Нужно найти

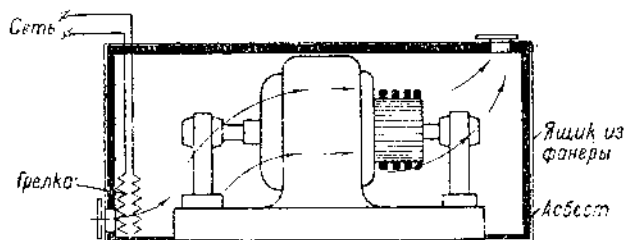


Рис. 81. Сушка машины.

Стрелками показано направление движения воздуха. Секции грелки должны быть выполнены так, чтобы их можно было соединить в параллельные и последовательные группы для регулировки температуры. Дюки и ящике для наблюдения за температурой и оборота ротора на рисунке не показаны; делаются в наиболее удобных для этих операций местах.

такое положение траверзы, при котором ток короткого замыкания будет одинаков при вращении в обе стороны. Во время опыта скорость вращения в обоих направлениях должна быть одинакова, а ток возбуждения должен быть неизменным.

§ 10. СУШКА.

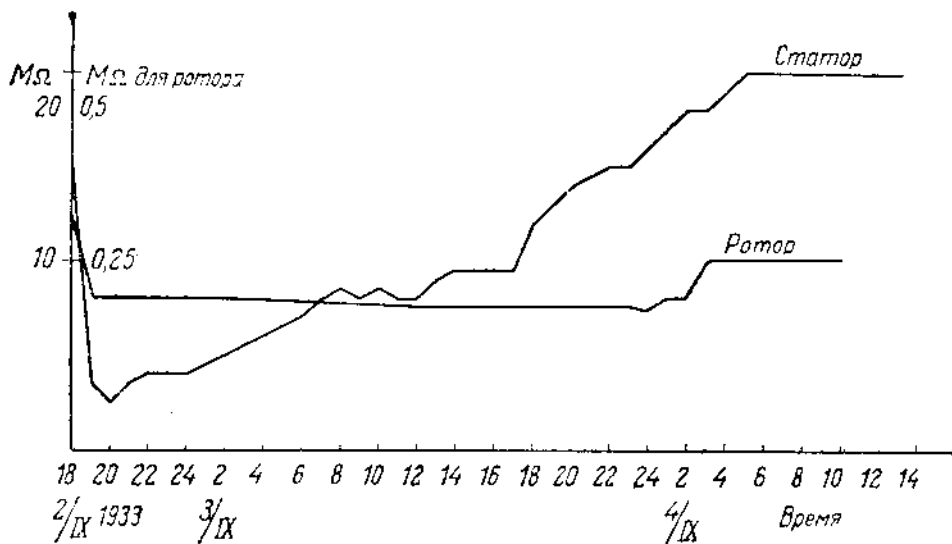
Сушка машины производится двумя способами: грелками или током. По первому способу машины покрывают ящиком, обитым внутри асбестом (рис. 81). В ящике помещают электрические грелки или печи. Для удаления испаряющейся влаги создают тягу воздуха, делая по одному небольшому отверстию внизу одной стенки и вверху противоположной. Помимо того, нужно сделать в нескольких местах съемные щиты для измерения температуры машины и наблюдения за термометрами.

В качестве грелок могут быть использованы реостаты, которым дают перегрузку на 25—50%. Внутри машины нужно создать такую циркуляцию воздуха, чтобы все обмотки обтекались горячим воздухом. Достигнуть этого можно системой перегородок.

Очень хороши для сушки винтиляторы, дующие горячим воздухом; тогда отпадает необходимость в грелках. Ротор нужно медленно вра-

щать посторонним двигателем, если же это трудно осуществить, то поворачивать на пол-оборота через каждый час — полтора.

По второму способу, который применяется гораздо чаще, — машину сушат током. В случае машины постоянного тока ее пускают генератором, якорь замыкают накоротко через амперметр, в обмотку возбуждения дают ток от постороннего источника (см. рис. 95) и регулируют его так, чтобы в течение первых 2—3 часов ток якоря был не выше 25% от номинального, а в дальнейшем — до 100% номинального тока. Якорю дают медленное вращение, желательно 10—20% номинальной скорости. Этим достигают две цели: ток в якоре до-



Кривые сушки турбогенератора
 $T = 290-70$ (3125 kVA)

Рис. 82. Кривая сушки.

стигает необходимой величины при меньшем числе реостатов в цепи возбуждения, чем понадобилось бы при нормальных оборотах, и вентилирующий воздух не охлаждает машину слишком сильно.

Обороты нужно поднимать очень осторожно, потому что может быть внезапное возрастание тока. Это же может произойти при передвижении щеток. Чтобы обезопасить машину, следует ставить в цепь якоря автоматический выключатель на $1\frac{1}{2}$ -кратный номинальный ток, или применить дифференциальное включение последовательной обмотки для предупреждения самовозбуждения, как это описано ниже в опыте короткого замыкания (гл. V, § 3).

Температура при сушке измеряется термометрами или термопарами по правилам, описанным во II и III главах. В ответственных машинах показания термопар и термометров контролируются определением температур по сопротивлениям, как описано во II главе.

Термопары закладываются возможно глубже в обмотку возбуждения и к железу, прилегающему к ней. Температура якоря измеряется по со-

противлению. При измерении температуры якорь приходится останавливать.

Температура самых горячих мест не должна превышать 90° С. Поднимать ее до этой величины желательно медленно, так как при быстром нагреве выходящие из обмотки пары могут повредить изоляцию.

Измерение сопротивления изоляции производится через каждый час, при этом обмотки, соединенные с другими машинами (например, обмотка возбуждения), нужно от этих машин отключать совершенно, так как изоляция этих машин может быть ниже изоляции обмотки, подвергаемой сушке и мы будем иметь неверное представление об изоляции этой обмотки.

Первоначально сопротивление изоляции понижается, а затем увеличивается. Сушку прекращают, когда оно перестает увеличиваться и в течение нескольких часов остается неизменным. Иногда бывает, что при сушке в течение нескольких часов изоляция не повышается, тогда машину останавливают, дают остыть и снова сушат. Если после нескольких повторных сушек изоляция достаточно не повышается, причины нужно искать не во влажности. На рис. 82 показана примерная кривая измерения сопротивления изоляции во время сушки.

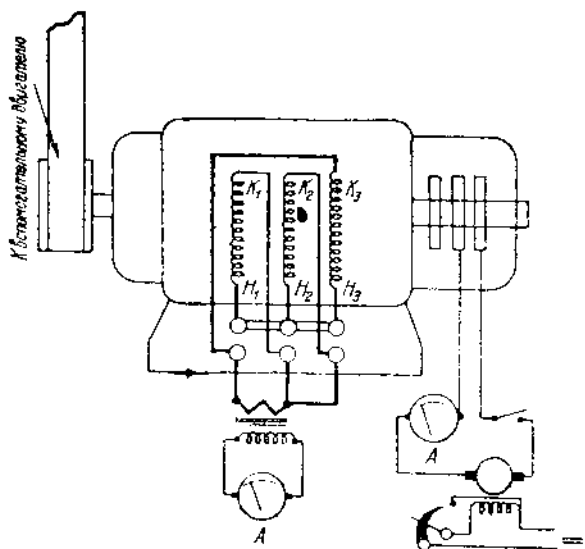


Рис. 83. Схема для сушки асинхронного двигателя

Продолжительность сушки, в зависимости от размеров и конструкции машин, может быть от 10 до 40 часов, а в некоторых случаях доходит до нескольких суток. Сопротивление изоляции, при котором машина может быть допущена в эксплуатацию, по нормам определяется по формуле:

$$M\Omega = \frac{\text{номин. напряж. машины в вольтах}}{\text{номинальн. мощн. в квт} + 1000} \quad (45)$$

Однако, обычно удается поднять изоляцию машины значительно выше (см. гл. II, § 14).

Для сушки током асинхронной машины ее включают в схему рис. 112, которая служит в дальнейшем для испытания машины. Потенциальным регулятором (см. объяснение ниже) или от отдельного генератора дают пониженное напряжение, достаточное для того, чтобы машина, будучи развернута, вращалась вхолостую на пониженной скорости; при этом в ней будет довольно значительный ток и пониженное охлаждение, что вызывает постепенный нагрев. Если машина имеет фазный ротор, то пуск производится нормально реостатом.

При отсутствии источника переменного тока, машину можно сушить в режиме генератора. Для этого собирается схема рис. 83. К двум кольцам подводится постоянный ток, регулируемый возбуждением генератора или реостатом. Обмотка статора замыкается через трансформатор тока накоротко. Машина приводится во вращение посторонним двигателем. Постоянный ток увеличивают осторожно от малых значений до тех пор, пока переменный ток не достигнет номинального значения. Целесообразней применять схему рис. 84, т. е. питать постоянным током обмотку статора, соединив концы фаз, как показано на рис. 84, и замыкать обмотку ротора через трансформатор тока. Следует иметь в виду, что ток короткого замыкания не зависит от скорости вращения.

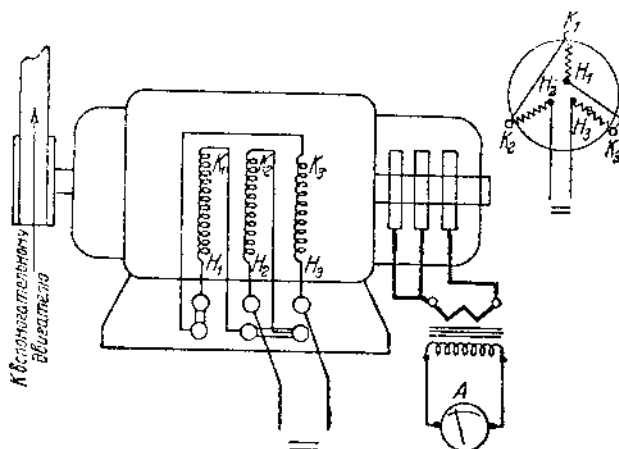


Рис. 84. Схема для сушки асинхронного двигателя.

Поэтому желательно не доводить машину до номинальной скорости, так как при этом вентилирующее действие увеличивается, и машина медленно нагревается.

Синхронные машины для сушки током приводятся во вращение своим двигателем (на месте установки) или вспомогательным двигателем (на испытательном станде). Обмотка статора замыкается накоротко через трансформаторы тока, ротор питается от своего возбудителя или от постороннего источника. Схема дана на рис. 127. Соединение статорных концов между собой и с трансформаторами тока¹⁾ делается шинами или толстым проводником. Контакты должны быть надежны, так как, если они будут греться, есть опасность их разрыва. При этом машина сразу окажется под полным напряжением со всеми последствиями. Постепенно увеличивая ток возбуждения, в течение 5—6 часов доводят ток в статоре до такой величины, когда температура наиболее нагретых мест обмотки достигает 90—95°. Обычно это бывает при 100% номинального тока. Обмотка ротора нагревается током возбуждения, который в режиме короткого замыкания немногим меньше тока возбуждения при нагрузке.

¹⁾ Не показанными на рисунке 127.

Турбогенераторы можно сушить, не нагружая обмотки током. Для этого машина должна вращаться со скоростью близкой к номинальной при сильно затрудненном доступе охлаждающего воздуха. Нагрев будет происходить за счет потерь на трение воздуха внутри машины. Необходимо периодически открывать доступ воздуха для удаления испарившейся влаги.

Температура ротора синхронных машин измеряется по сопротивлению его обмотки. Измерение производится на ходу, для этого в цепь ротора включается точный амперметр, а напряжение снимается с колец с помощью двух щеток из медной фольги, которыми прикасаются к кольцам на время измерения. Вспомогательные щетки должны касаться только контактных колец, и не касаться щеток, расположенных на машине. Провода от вспомогательных щеток к вольтметру должны быть достаточно толсты (4—6 мм²).

Одновременно с сушкой или после ее окончания производится опыт короткого замыкания (см. гл. VII, § 3).

§ 11. ПРОБНЫЙ ПУСК.

Предварительные испытания завершаются пробным пуском для проверки на ходу и для шлифовки щеток. Нужно собрать схему в соответствии с типом испытуемой машины с тем, чтобы ее в дальнейшем использовать для опыта холостого хода. После проверки отдельных цепей схемы полезно дать ненадолго полный ток возбуждения еще неподвижной машине и затем, сняв его, пустить машину.

Смазка. В работающей машине нужно прежде всего убедиться в исправности смазки. При кольцевой смазке кольцо должно вращаться равномерно и не образовывать пены на масле. При смазке под давлением масло нужно пустить до пуска машины и остановить после остановки машины. На ходу оно не должно разбрызгиваться из подшипника; причиной разбрызгивания могут быть не только плохие уплотнения, но и слишком большая подача масла. За смазкой должно быть все время наблюдение, особенно у быстроходных машин; очень часто бывают случаи засорения маслопровода, прекращение подачи масла или остановка кольца при кольцевой смазке, и тогда в течение нескольких минут подшипники расплавляются („горят“).

В том случае, если подшипник задымит, нужно быстро выключить двигатель и затормозить машину, но не дать ей совсем остановиться, а несколько минут медленно вращать руками или ломом для того, чтобы расплавленный баббит остыл и не приварился к шейке вала. Если машина работает генератором и подготовлена для опыта холостого хода, короткого замыкания или нагрузки, то затормозить можно, возбуждав машину так, чтобы она развивала номинальное (и даже больше) напряжение или ток. При работе машины двигателем нужно нагрузить генератор, который она вращает.

За температурой подшипников нужно следить, ощупывая их рукой через каждый час или еще чаще, причем по возможности не наружную поверхность подшипника, а вкладыш, если он доступен. Наибольшая допустимая температура вкладыша 80° (на ощупь обжигает).

Для смазки под давлением применяется турбинное масло, для кольцевой смазки — машинное.

Причиной нагрева подшипников может служить следующее:

1. Недостаток масла.
2. Плохая пригонка вкладышей. Подшипник быстро нагревается; в разобранном вкладыше видно по притертым местам, что шейка вала прилегает не по всей поверхности. Необходимо тщательнее пришабровать вкладыш.

3. Вибрация ротора. Подшипник нагревается медленно. После устранения вибрации нагрев подшипников уменьшается.

4. Слишком большие или слишком маленькие зазоры между шейкой вала и вкладышем. Нормальные зазоры приведены в табл. 11 и 12. Следует иметь в виду, что отверстие вкладыша должно быть эллиптическим, как показано на рис. 85.

5. Слишком тяжелые кольца вращаются медленно и не подают достаточно масла. Слишком легкие кольца также нехороши, так как они быстро вращаются, подпрыгивают, разбрызгивают масло и также не дают достаточного его количества.

6. Масло засоренное (мутное), сильно перегретое или имеет примесь кислоты. Кислотность определяется химическим анализом.

7. Охлаждающая вода затекает в масло (там, где имеется водяное охлаждение подшипника, — обычно в быстроходных асинхронных двигателях).

Вытекание масла из подшипника может быть вызвано при нормальной подаче его засорением каналов, неплотной пригонкой друг к другу половинок подшипника, слишком маленькими или легкими кольцами, которые быстро вращаются и разбрызгивают

масло, или плохой пригонкой уплотняющих колец (лабиринтов). Это особенно сильно сказывается со стороны, обращенной внутрь машины, где вращающийся ротор всасывает, как вентилятор, из подшипника воздух, а с ним и масло.

Для того чтобы проверить, не засасывает ли вентилятор масла, нужно дать машине поработать час — два и внимательно осмотреть лобовые соединения обмотки. Если масло засасывается, то обмотка покрывается маслом. Исправление заключается в лучшей пригонке уплотняющих колец и вкладыша и проточкой во вкладыше двух или трех каналов для стока масла со стороны, обращенной к вентилятору.

При смазке под давлением направление вращения не безразлично. Оно должно быть заранее известно, и зависит от конструкции подшипника. Однако, в большинстве случаев оно должно быть таково, чтобы вращающийся вал затягивал масло на нижний вкладыш, как показано на рис. 85.

Разбег. Разбег ротора¹⁾ зависит от диаметра вала и должен быть: для вала до 100 мм — 1 мм, свыше 100 мм — 1⁰/₀ от диаметра. Разбег нужно регулировать относительно магнитного центра и щеток. В воз.

¹⁾ Напоминаем читателю, что ротором называется вращающаяся часть электрической машины, т. е. сидящая на ее валу.

бужденной машине ротор стремится занять вполне определенное положение относительно статора, при котором магнитный поток машины имеет наикратчайший путь; нормально это будет иметь место, если середина железа ротора совпадает с серединой статора. Для проверки вращают машину и затем возбуждают ее, при этом ротор иногда заметным толчком становится по магнитному центру; если при этом разбег в сторону обоих подшипников одинаков, то установка верна. Признаком того, что ротор „сидит“ на одном подшипнике, может служить то, что во время работы он ходит от одного подшипника к другому. Поле тянет его в одну сторону, он, двигаясь, ударяется о вкладыш и отскакивает от него, затем это снова повторяется. Часто стук ротора о подшипник бывает ясно слышен. Иногда же ротор просто упирается в один из подшипников, и если его оттолкнуть, он возвращается обратно. Причинами „сидения“ ротора на подшипнике могут также служитьременная передача и негоризонтальная установка.

Для проверки влияния ремня следует пустить машину, и, сбросив на ходу ремень, проверить разбег; если ротор перестает сидеть на одном подшипнике, то причиной является ремень, и машины следует установить так, чтобы ремень не тянул ротор в одну сторону. Если же ротор продолжает сидеть на одном подшипнике после сброса ремня и в невозбужденной машине, то причиной является негоризонтальная установка. Ниже опущен тот подшипник, на котором сидит ротор. Проверка производится уровнем, положенным на вал. Следует также иметь в виду, что на холостом ходу сидение ротора на подшипнике вызывается иногда действием вентилятора, и исчезает при нагрузке машины.

Если ротор сидит на каком-нибудь подшипнике вследствие магнитного тяжения, то это означает неправильную установку подшипников. Правильная установка подшипников производится в зависимости от конструкции; если подшипники крепятся к корпусу, то нужно подвинуть вкладыши в ту сторону, на которой сидит ротор, сохранив правильную величину разбега. Лучше всего это сделать, пустив машину двигателем и отпустив стопорные болты, крепящие вкладыши; после этого нужно поставить на вкладыш деревяшку или планку из красной меди, и ударять по ней свинцовой кувалдой. Если вкладыш будет передвинут больше, чем нужно, то подать его обратно можно, ударя кувалдой (свинцовой) в торец вала на ходу машины.

Если корпус машины и подшипники отдельно крепятся к фундаментной плите, то нужно двигать корпус в сторону, противоположную той, на которой сидит ротор, при этом нужно не изменить зазор между ротором и статором.

Щетки должны быть в таком положении относительно коллектора или колец, чтобы при движении ротора от одного крайнего положения до другого они не доходили бы до краев коллектора (или колец) на несколько миллиметров. В случае, если на коллекторе имеются бандажные кольца, они не должны касаться щеткодержателей. В противном случае приходится делать кропотливую работу, перемещая все щеткодержатели в нужную сторону. По окончании регулировки разбега машина должна быть установлена в таком положении, чтобы ротор, сидя на подшипнике со стороны муфты, не ударял бы своей полумуфтой полумуфту двигателя, если ротор двигателя также сидит в это время на подшипнике; в противном случае приходится передвигать одну из ма-

шин. Все вышесказанное должно быть предусмотрено при подготовке машины к испытанию, при пробном же пуске производится только проверка и исправление мелких неисправностей.

В асинхронных машинах следует также обратить внимание на щеточный механизм, не трет ли короткозамыкающее кольцо о ролики, которые его двигают, и не трет ли (не „шлифует“ ли) ротор, что нередко бывает при неверной сборке или сработавшихся подшипниках благодаря тому, что зазор в асинхронных двигателях очень мал (0,3—1,5 мм).

Крупные генераторы во время испытания приводятся во вращение довольно мощными двигателями, часто с водяным пусковым реостатом. Эти двигатели также требуют внимательного наблюдения. Если двигатель асинхронный, — с ротором, имеющим высокое напряжение на кольцах (от 300 вольт и выше), то у такого двигателя часто происходит „перекрытие“ на кольцах (вспыхивает и мгновенно тухнет вольтова дуга). Причиной служит металлическая пыль и грязь на кольцах, щетках и bracketах, поэтому перед пуском они должны быть протерты сухой тряпкой и продуты.

Иногда нарушается контакт в короткозамыкающем кольце или обмотке ротора. Признаком этого служит регулярное качание стрелки амперметра, включенного в статор.

Вибрации. Вибрации в машине требуют сугубого внимания, так как уменьшают срок ее службы и часто даже делают невозможной ее эксплуатацию, вызывая нагрев подшипников, разбалтывание и задевание частей машины. В тяжелых случаях следствием вибрации может являться авария, например срыв ротора с подшипников. Однако, если появляются не очень значительные вибрации, нужно продолжать увеличивать скорость, так как вибрации могут исчезнуть выше некоторой скорости, которая называется „критической“. Но если вибрации слишком сильны, и могут быть опасны для машины даже при кратковременной работе, то увеличивать скорость не следует. Измерение величины вибрации может производиться индикатором. Величина допустимой вибрации зависит от размеров машины и скорости ее вращения (как общее правило, вибрация не должна превышать сотых долей мм). Если вибрации не исчезают после достижения номинальной скорости, нужно постараться определить их причину и принять меры к их устранению.

Вибрации в машине возникают в следующих главных случаях:

1. Когда центр тяжести ротора не совпадает с осью вращения, благодаря неравномерной плотности материалов и неточному изготовлению. Во избежание этого практически все машины после изготовления подвергаются уравниванию, — так называемой „балансировке“.

Неуравновешенность может возникнуть, если в роторе имеются недостаточно хорошо закрепленные детали. В этом случае детали могут сместиться на ходу и, таким образом, вызвать вибрации.

2. Вибрации возникают в результате неверной установки, если муфты сдвинуты или стоят под углом, как показано на рис. 50.

3. Причиной вибрации может явиться несимметрия магнитного поля машины, вызывающая „одностороннее“ притяжение ротора к статору.

Характер причин вибраций указывает на то, что за ними нужно следить и сравнивать их во всех режимах работы машины.

Если при пробном пуске невозбужденная машина вибрирует, то это может происходить от плохой установки (при сцеплении муфтой) или

от неуравновешенности одной или обеих машин. Если больше вибрируют подшипники обеих машин со стороны муфты, то более вероятно неверная установка. Если вибрирует какая-нибудь машина во всех частях одинаково, то более вероятно неуравновешенность этой машины. Если же вибрирует подшипник со стороны, противоположной муфте, то налицо явная неуравновешенность той машины, которой принадлежит вибрирующий подшипник. Для проверки нужно машины расцепить и пустить каждую двигателем; если имелась плохая установка, то вибрация прекратится, если же неуравновешенность — то неуравновешенная машина будет продолжать вибрировать. Эту проверку лучше производить на выбеге (развернуть машину до полных оборотов и выключить ее). Часто вибрация бывает значительной при плохом креплении машины к фундаменту или слабом фундаменте. Лучшее закрепление вызывает уменьшение вибраций, однако корень зла этим не уничтожается. Единственным радикальным способом является балансировка.

Следует проверить вибрации, возбуждив машину. Если вибрации возникают только при возбужденной машине, то причиной их является несимметрия магнитного поля (например замыкание витков обмотки возбуждения синхронной машины или обмотки якоря машины постоянного тока).

Наблюдение за вибрацией следует вести во всех других режимах работы, тем более, что вибрация может появиться даже после продолжительной работы. Необходимо сказать, что иногда выяснить причины и устранить вибрации бывает очень трудно и даже невозможно. По этому вопросу следует ознакомиться со специальной литературой. Укажу только на один способ уменьшения вибраций (вызванных неуравновешенностью ротора), который, однако, не устраняет причины вибрации и, как радикальная мера, не может быть рекомендован. Помимо того, он применим только для небольших машин. Именно: к машине нужно прикрепить упругий стержень, на котором может перемещаться груз. Это устройство показано на рис. 86. Подобрав вес груза, высоту подвеса и упругость стержня, можно почти уничтожить вибрации корпуса машины, вместо чего будет вибрировать груз.

Проверка задевания частей. При неправильном изготовлении или сборке машины возможны задевания вращающихся частей о неподвижные. Если появится задевание частей внутри машины, носящее характер грения, а не ударов, не следует немедленно выключать машину; нужно прислушаться и постараться определить место задевания. Наиболее часто встречается задевание вентилятора о щит; иногда оно проходит само собой, если же в течение нескольких минут не исчезает, то машина требует разборки.

Проверку нужно производить в возбужденной и невозбужденной машине, толкая ротор в обе стороны. Эта проверка производится одновременно с проверкой разбега. Незначительное задевание не служит препятствием для испытания и может быть исправлено после испытания. Для обнаружения шумов в машине удобно приспособление, показан-

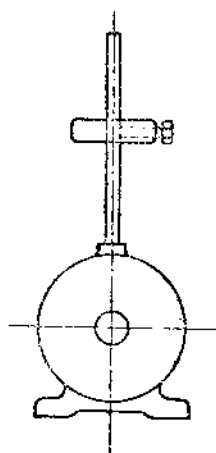


Рис. 86. Приспособление для устранения вибраций (как временная мера).

ное на рис. 87. В качестве такового может служить деревянная или железная палка, приложенная одним концом к машине, а другим, с плоским кружком на конце, к уху.

Длительная работа на холостом ходу. По окончании проверки и пробного пуска нужно пустить машину на некоторое время для пришлифовки щеток и подшипников. В агрегате часто не имеет смысла гонять ради этого машину, сцепленную с испытуемой, в особенности, если она имеет значительные потери холостого хода (ее мощность примерно равна мощности испытуемой машины). В этих случаях ставят сбоку небольшой двигатель под ремень и полумуфта испытуемой машины служит шкивом; полумуфта другой машины остается несцепленной; еще лучше ее установить только после окончания всех предварительных испытаний.

Приложить
уху



Рис. 87. При-
способление
для выслуши-
вания шумов
в машине.

В ответственных случаях щетки шлифуются 4—5 часов. Пришлифованная поверхность щетки должна быть равномерно блестящей, без царапин и пятен. К концу шлифовки коллектор не должен нагреваться слишком сильно (не выше 40—50°). Большой нагрев коллектора указывает на чрезмерный нажим щеток.

§ 12. НЕИСПРАВНОСТИ В МАШИНЕ ПРИ ПРОБНОМ ПУСКЕ.

Машины постоянного тока.

1. Нагрев якоря. Нагрев якоря даже при поднятых щетках¹⁾ может иметь две причины:

а) Витковое замыкание в якоре. Нагревается место, в котором находится замкнутая секция; замыкание также может произойти не в обмотке, а на коллекторе между пластинами. Нагревание происходит очень быстро и в течение 2—3 минут обмотка начинает дымить.

б) Неправильно присоединены уравнительные соединения: нагреваются и сами соединения, и секции, к которым они присоединены. Нагрев происходит так же быстро, как и в предыдущем случае. В большинстве случаев после полуминуты работы из машины показывается дым. Характерным признаком при этом является то, что машина вращается не плавно; а толчками (заметно на тихоходных машинах).

2. Нагрев обмотки возбуждения. Происходит благодаря ненормально большому току в ней, который может быть вызван витковым замыканием, слишком высоким напряжением, подведенным к обмотке возбуждения, или слишком малым сопротивлением шунтового реостата.

3. Отсутствие напряжения. Генератор с независимым возбуждением не возбуждается только в том случае, если у него нет тока в цепи возбуждения (обрыв в обмотке, реостате, нет напряжения в цепи, питающей обмотку возбуждения).

Генератор же с самовозбуждением может не возбуждаться по следующим причинам:

а) Машина не имеет остаточного магнетизма; проверяется вольтметром при выключенной цепи возбуждения; если напряжения на якоре не окажется, то пущю машину намагнитить, дав ток возбуждения от

¹⁾ В режиме генератора.

постороннего источника. Если же вольтметр покажет хотя бы 20% от нормального напряжения, то причина не в этом, и машина должна возбудиться.

б) Неправильно включена обмотка возбуждения; проверяется: — при включении обмотки возбуждения вольтметр якоря уменьшает показания (потому что шунтовая обмотка при этом размагничивает машину). Следует переключить концы шунтовой обмотки. Нужно это уменьшение не смешивать с небольшим уменьшением напряжения при включении шунтовой обмотки от того, что ток, по ней проходящий, вызывает падение напряжения в щетках.

в) Велико сопротивление наружной цепи шунтовой обмотки (не выводится целиком реостат, плохие контакты). Замкнуть шунтовую обмотку на якорь в клеммовой коробке. При этом нужно соблюдать осторожность, так как машина возбуждается очень быстро.

г) Велико сопротивление контакта щеток, что является частой причиной, преимущественно в машинах низкого напряжения (до 110 В); прижать щетки руками с помощью какого-либо изолирующего предмета (например куска прессшпана).

д) Малая скорость вращения. Следует увеличить скорость, но не выше, чем на 20% сверх нормальной.

Машину с добавочными полюсами иногда удается возбудить, если замкнуть ее накоротко и быстро разомкнуть. Это явление объясняется способностью машины самовозбуждаться (описано в опыте короткого замыкания. См. гл. V, § 3).

4. Недостаточное напряжение. Недостаточное напряжение в машине может быть вызвано недостаточной скоростью вращения, а при нормальных оборотах — недостаточным током возбуждения или неправильным включением обмотки возбуждения (части полюсов). Проверка ясна из сказанного о проверке обмоток, а устранение причины ясно по ее характеру.

5. Искрение на холостом ходу в машинах с параллельным возбуждением может появиться вследствие обрыва в обмотке якоря (в случае, если щетки стоят на нейтрали). Иногда у машин с самовозбуждением это явление происходит при значительной вибрации щеток. Для полной уверенности нужно дать машине независимое возбуждение, и если искрение исчезает, то несомненно, обрыв — в обмотке якоря. Обрыв проверяется измерением сопротивления по пластинам коллектора, как указано было выше. Если же при независимом возбуждении искрение не исчезает, то причину его следует искать в чем-либо ином (см. гл. V, § 3).

6. Повышенная скорость вращения. Повышенная скорость вращения, если машина пущена двигателем, может быть вызвана: малым током возбуждения, неправильным включением части обмотки возбуждения, высоким напряжением питающей сети.

Машины переменного тока.

Наиболее часто встречающейся неисправностью соединений асинхронной машины является вывернутая по отношению к двум другим фаза. Если условно обозначить выводы в каждой фазе, считая по ходу обмотки, один — началом, а второй — концом, то для правильного соединения фаз между собой должно быть:

1) При сопряжении в звезду должны быть соединены вместе все три конца (все три начала), а остальные приключаются к сети.

2) При сопряжении в треугольник начало одной фазы соединяется с концом второй, конец второй с началом третьей и конец третьей с началом первой; линия присоединяется к трем точкам сопряжения фаз.

Вывернутой фазой будет та, которая присоединена к остальным началом вместо конца. При пуске в ход это сразу делается заметно по сильному гудению и дрожанию всей машины. Через несколько минут машина начинает дымить. Дальнейшая проверка вывернутой фазы производится измерением токов в фазах, для чего нужно включить три амперметра, если по схеме включено их меньше.

Если сопряжение сделано в звезду, то в вывернутой фазе ток будет больше, чем в двух других. Токи в фазах при этом будут значительно больше нормального.

Если сопряжение сделано в треугольник, то вывернутая фаза будет между теми проводами сети, в которых амперметры показывают больше, чем в третьем.

Следует иметь в виду, что вывернутая фаза может быть и в обмотке ротора. Это обнаруживается по неравенству напряжений на кольцах разомкнутого ротора при питании статора от сети.

Витковое замыкание. Витковое замыкание в фазе обнаруживается заметно большим или очень сильным нагреванием обмотки этой фазы и железа (активного и корпуса) в том месте, где она расположена. Проверка производится с помощью трех амперметров, включенных в линейные провода. Опыт этот следует делать при замкнутом роторе и пониженном напряжении на статоре. Если сопряжение фаз статора сделано в звезду, то амперметр в поврежденной фазе покажет ток больший, чем в двух других, если же сопряжение сделано в треугольнике, то больший ток покажут амперметры в проводах, между которыми находится поврежденная фаза. Так как этот способ похож на проверку вывернутой фазы, следует сказать, что при вывернутой фазе потребление тока на холостом ходу в 10—15 раз больше, чем при правильном соединении, причем в вывернутой фазе ток раза в 1,5—2 больше, чем в других. При витковом же замыкании разница между токами в фазах может быть больше, а потребление тока всеми фазами меньше.

Витковое замыкание в фазе может быть иногда обнаружено разницей в сопротивлениях фаз.

Если разъединить фазы и подать одну исправную переменным током пониженного напряжения (в 1,5—2 раза), то у другой исправной фазы напряжение будет больше, чем у поврежденной, кроме того поврежденная фаза будет нагреваться. Измерять удобно вольтметром и шупами.

В синхронных машинах наиболее часто встречаются следующие неисправности.

1. Полное отсутствие напряжения; причина в обрыве цепи возбуждения или в отсутствии напряжения у возбуждателя.

2. Несимметричное напряжение; причина в неверном соединении фаз; исправляется пересоединением фаз.

3. Витковое в обмотке статора: обнаруживается по дыму, который начинает идти из машины, как только ее начнут возбуждать.

§ 13. ИСПЫТАНИЕ ПОВЫШЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ.

Это испытание часто называют испытанием на „разнос“. Каждая электрическая машина в эксплуатации может получить повышенную скорость вращения; если она работает генератором, то это может произойти при сбросе нагрузки; если двигателем, то при повышении частоты сети (в машинах переменного тока), обрыва в цепи возбуждения (в машинах постоянного тока) и т. п. Как известно, во вращающемся теле возникают так называемые центробежные силы, которые стремятся разорвать это тело. Величина этих сил пропорциональна квадрату скорости вращения. Если, например, скорость увеличивается вдвое, то центробежная сила увеличивается в четыре раза. При значительном повышении скорости вращения ротор может разорваться и разрушить помещение и машины.

Для проверки прочности ротора, ему после изготовления дают повышенную скорость вращения в заводе-изготовителе. По нормам роторы всех машин должны испытываться повышением скорости вращения на 20% в течение двух минут, а роторы гидрогенераторов должны испытываться повышением скорости вращения на 80% в течение двух минут.

Испытание это особо серьезное и опасное, и должно производиться квалифицированным персоналом.

Испытание на разнос синхронных машин. Ротор (без статора) устанавливается на своих подшипниках в специальной бетонной яме, закрывающейся сверху тяжелой железной плитой. Роторы турбогенераторов иногда продевают в стальные кольца, которые закрепляют на фундаменте. Ротор спаривают муфтой или ремнем с двигателем. Мощность двигателя должна быть равна 5—10% мощности испытуемой машины.

Измерение скорости вращения производится с помощью тахометрической динамо.

Перед разгоном должна быть проверена система смазки и должны быть заложены термомпары в подшипники для измерения их температуры. Последнее особо важно для гидрогенераторов, которые разгоняются на подпятнике. В масло у самого подпятника и по возможности в тело самого подпятника закладывается, при установке ротора, не одна, а несколько термомпар.

Во время разгона обмотка смещается под влиянием центробежных сил, сдавливается и может быть повреждена. Поэтому перед разгоном и после разгона измеряется сопротивление изоляции обмотки. По этой же причине разнос должен производиться раньше всех других испытаний. У турбогенераторов с запеченой обмоткой ротора, перед разгоном нагревают током обмотку до 80—90° для того, чтобы шеллак размягчился и обмотка приняла бы во время разгона окончательное положение, что необходимо не только для надежности изоляции, но и для балансировки ротора. Нагревать током обмотку следует медленно в течение нескольких часов, так как отдельные места сильно перегреваются при быстром нагреве; особо сильно перегреваются лобовые части (под каппой). При нагреве необходимо во многих местах обмотки заложить термомпары и по ним следить за температурой обмотки. Особо важно заложить их как можно ближе к лобовым частям.

Нагрев следует вести током величиной в 50—70% номинального тока возбуждения.

В цепь разгонного двигателя включаются приборы для измерения мощности (иногда самопишущие). Схема должна быть собрана так, чтобы было обеспечено быстрое выключение двигателя и торможение. Роторы гидрогенераторов тормозятся специальными гидравлическими тормозами, а при разгоне других роторов необходимо осуществить электрическое торможение, т. е. двигатель после выключения должен работать генератором на реостат.

Перед разгоном все лишние люди должны быть удалены за пределы помещения; обычно для проведения опыта достаточно 5—6 человек.

Ротор сдвигают с места с помощью крана, талей или трактора и затем включают двигатель. В большинстве случаев, особенно при разгоне роторов гидрогенераторов требуются повторные включения. Для облегчения сдвига с места желательно иметь масло подогретым, для чего масляный насос должен несколько часов работать перед разгоном. Можно также (особенно зимой) масло специально подогреть. Для облегчения пуска при сборке роторов гидрогенераторов в подпятник кладется сало.

Ротор медленно разворачивают до номинальной скорости, тщательно наблюдая за скоростью вращения, температурой подшипников и вибрацией всей установки. В случае сильных вибраций опыт должен быть прекращен и ротор отбалансирован. Следует иметь в виду, что иногда после перехода на известную скорость (которую называют „критической“) вибрации значительно ослабевают.

Когда ротор достиг нормальной скорости, возможно быстро увеличивают скорость до необходимой величины (см. выше) и поддерживают ее две минуты, отмечая каждые пятнадцать секунд показания всех приборов и тщательно наблюдая температуру подшипников. По истечении указанного времени двигатель выключается и ротору дают свободно остановиться, в случае необходимости сняв кривую выбега.

Для успешного проведения опыта необходима четкая работа и безусловная дисциплинированность всех участников. Сейчас же после остановки измеряется сопротивление изоляции, осматриваются все болты и гайки и в случае необходимости — подтягиваются.

Способы повышения скорости вращения применяются следующие:

1. Двигатель постоянного тока спаривается с ротором муфтой или ременной передачей, причем подбирается (сам двигатель в первом случае и шкивы во втором) так, чтобы во время разгона двигатель имел бы скорость номинальную или же меньшую (немного большая — до 50% — также допускается)¹⁾.

2. Асинхронный двигатель также спаривается с ротором муфтой или ременной передачей. Двигатель подбирается такой, у которого номинальная скорость выше скорости разгона и при разгоне он работает с включенным реостатом со значительным скольжением для того, чтобы возможно было регулировать скорость.

3. Асинхронный двигатель, скорость которого регулируется изменением частоты питающего тока. Последнее достигается или применением

¹⁾ Нельзя применять сервес-двигатель при ременной передаче; в случае, если ремень соскочит или оборвется, произойдет разнос двигателя.

синхронного генератора с регулировкой скорости вращения или преобразователем частоты.

Асинхронный двигатель должен иметь номинальную скорость вращения, большую скорости разгона. Или же, при равных скорости разгона и номинальной скорости двигателя, он должен без повреждений выдерживать необходимое повышение скорости вращения. В последнем случае генератор должен безопасно выдерживать повышение скорости, необходимое для питания двигателя повышенной частотой.

Разнос от преобразователя частоты. Принцип работы преобразователя частоты заключается в следующем: если затормозить ротор асинхронной машины с фазным ротором и питать его статор от сети, то с колец можно снимать ток, как в нормальном трансформаторе (что мы имеем в потенциальном регуляторе) той же частоты, что в сети. Если же ротор вращать в сторону обратную той, в которую он сам стремится вращаться, то в его обмотке получается ток большей частоты; эту частоту можно подсчитать по формуле:

$$f_2 = f_1 \frac{(n_2 + n_1)}{n_1}, \quad (46)$$

где: f_2 — (повышенная) частота тока ротора,

f_1 — частота сети,

n_2 — число оборотов ротора (в мин.),

n_1 — синхронное число оборотов в минуту асинхронного двигателя, работающего преобразователем частоты (вращаемого в обратную сторону).

Если например частота сети 50 герц и синхронное число оборотов в минуту преобразователя частоты — $n_1 = 1500$ (номинальное — 1480), то для того, чтобы частота повысилась на 25%, т. е. была бы равна 62,5 герц, n_2 должно быть равно 375 об/мин. Действительно:

$$f_2 = 50 \frac{375 + 1500}{1500} = 50 \frac{1875}{1500} = 62,5 \text{ герц.}$$

Как видим, ротор преобразователя частоты должен делать только 375 об/мин, т. е. как раз 25% от своей синхронной скорости вращения.

Полная схема разноса большого ротора от преобразователя частоты дана на рис. 88. Здесь II — преобразователь и его двигатель, I — агрегат, питающий двигатель преобразователя, III — разгоняемый ротор и его двигатель. Порядок работы следующий. Пускают I агрегат при разомкнутом рубильнике 3. Затем пускается от сети двигатель A_3 и, следовательно, разгоняемый ротор III включением выключателей 5 и 7 (причем выключатели 4 и 5 заблокированы так, что когда включается масляник 5, масляник 4 выключается, и наоборот).

Затем включают выключатель 2 и после того переключателем 6 включают маленький асинхронный двигатель A_4 поочередно на преобразователь и сеть, питающую A_3 . Если в обоих положениях переключателя 6 двигатель A_4 не меняет направления вращения, то и двигатель A_3 не изменит направления вращения при включении на преобразователь. Если же двигатель A_4 изменит направление вращения при переключении, то нужно поменять местами два провода на кольцах A_2 или у выключателя 4 и затем повторить проверку. Когда проверка закончена, выключают выключатель 7 и включают выключатель 4, выключая этим выключатель 5. Двигатель A_3 работает уже от преобразователя, при этом A_2 — преобразователь работает, как обычный трансформатор. После включения выключателя 4, A_2 получает нагрузку и агрегат II начинает вращаться.

Затем замыкают выключатель 3, обе машины постоянного тока при этом не возбуждены. Двигатель постоянного тока Π_2 агрегата II включен так, что имеет направление вращения обратное направлению вращения асинхронного двигателя (преобразователя частоты). Начинают возбуждать обе машины постоянного тока так, чтобы ток шел от Π_1 к Π_2 . При этом Π_2 начинает тормо-

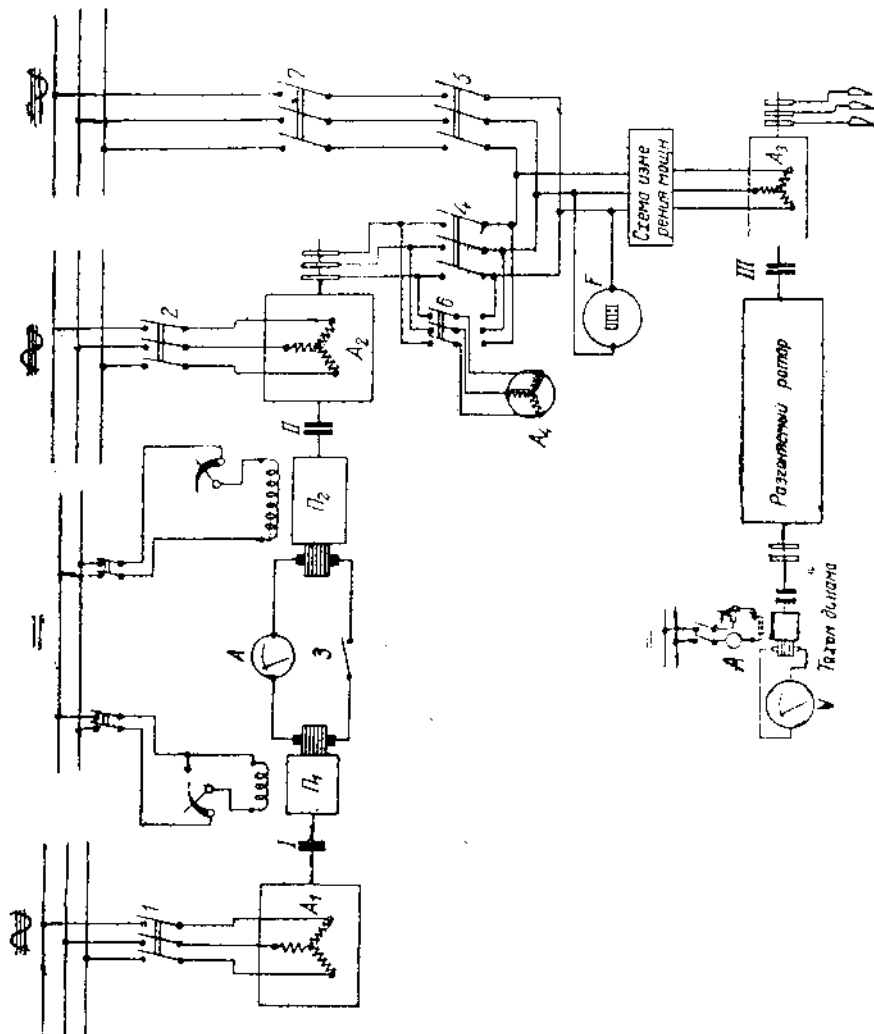


Рис. 88. Схема испытания на разн.

зить A_2 и скорость вращения агрегата II начинает уменьшаться, постепенно он останавливается. Регулируя возбуждение Π_1 и Π_2 , заставляют преобразователь вращаться в обратную сторону, при этом преобразователь начинает давать повышенную частоту, а разгоняемый ротор получает повышенную скорость. Ее доводят до необходимой величины, поддерживают две минуты; плавно уменьшают до немного меньшей номинальной, быстро изменяют возбуждение Π_1 и Π_2 так, чтобы стрелка амперметра стала на нуль, выключают выключатель 3 и затем немедленно выключают выключатель 4.

Разгоняемый ротор останется на выбеге. Затем выключают рубильники I и 2 и рубильники возбуждения.

За частотой, которую дает преобразователь, следят по частотомеру, а за скоростью агрегата III — по тахометрической динамо, показанной на рисунке.

Испытание на разнос машин постоянного тока. Как правило, оно производится в режиме двигателя на холостом ходу. Уменьшая ток возбуждения, получают необходимую скорость вращения. Последняя измеряется с помощью тахометрической динамо. Опыт организуется так, как описано выше. В заводских условиях маленькие машины постоянного и переменного тока часто разгоняют на станде во время испытания. Однако этот метод ни в коем случае не может быть рекомендован.

§ 14. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ (НА ПРОБОЙ).

Это испытание является одним из важнейших для всех типов машин. В „Электрических правилах и нормах“ говорится:

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ (ОСТ 3888)¹⁾.

I. Общие данные.

§ 1. Испытание электрической прочности изоляции высоким напряжением является обязательным для каждой новой электрической машины и должно производиться на месте изготовления машины до начала ее промышленной эксплуатации.

Примечание 1. При испытании изоляции новых машин на месте установки, а также при испытании отремонтированных машин условия испытания изоляции должны устанавливаться и оговариваться особо, причем это испытание может производиться только в тех условиях, где это допустимо правилами техники безопасности.

Примечание 2. Испытание изоляции электрических машин, бывших в эксплуатации, при отсутствии особой договоренности, производится номинальным напряжением относительно корпуса машин.

§ 2. Испытание производится:

а) при таких температурах частей машин, которых они достигают при нормальном режиме работы, т. е. сразу после испытания машины на нагревание, если таковому машина подвергается, или

б) в холодном состоянии машины, если при приемке она испытанию на нагревание не подвергается.

§ 3. Испытанию электрической прочности изоляции подвергается вполне собранная машина, а не отдельные ее части.

Примечание. В машинах постоянного тока, синхронных машинах с явно выраженными полюсами и в тех машинах, которые на заводе не могут быть собраны, испытание электрической прочности изоляции может производиться над отдельными частями.

§ 4. Измерение сопротивления изоляции машины является необязательным, если оно не оговорено в специальных условиях.

Примечание. Измерение сопротивления изоляции рекомендуется производить перед испытанием электрической прочности изоляции машины с целью убедиться в исправном состоянии изоляции и достаточной ее просушенности.

§ 5. Испытанию высоким напряжением должны быть подвергнуты как изоляция обмоток по отношению к статорам машин (т. е. к земле), так и изоляция между разобщенными электрически обмотками.

§ 6. Испытательное напряжение должно прикладываться поочередно между каждой электрически независимой цепью и всеми другими электрическими цепями и металлическими частями, соединенными с кор-

¹⁾ Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Госплане СССР 20/XI 1931 г. как обязательный с I/II 1932 г.

№ п/п	Наименование машины или части ее	Испытательное напряжение
1	Машины с номинальной мощностью меньше 1 kW или 1 kVA независимо от номинального напряжения	Двойное номинальное напряжение плюс 500 V. Минимальное напряжение 1000 V
2	Машины с номинальной мощностью от 1 kW и выше с напряжением меньше 6000 V	Двойное номинальное напряжение плюс 1000 V. Минимальное напряжение 1500 V
3	Машины с номинальной мощностью от 1 kW и выше с напряжением 6000 V и выше	Двойное номинальное напряжение плюс 3000 V
4	Обмотка возбуждения синхронных генераторов при напряжении возбуждения не выше 750 V	10-кратное номинальное напряжение возбуждения Минимум 2000 V Максимум 3500 V
5	Обмотка возбуждения синхронных двигателей и одноякорных преобразователей: а) для асинхронного пуска при замкнутой „накоротко“ обмотке возбуждения	10-кратное номинальное напряжение возбуждения Минимум 2000 V Максимум 3500 V
Примечание. Обмотка возбуждения считается замкнутой „накоротко“, если внешнее сопротивление не превосходит 10-кратной величины сопротивления самой обмотки.		
	б) для асинхронного пуска одноякорных преобразователей с разомкнутой, но секционированной обмоткой возбуждения	5-кратное номинальное напряжение возбуждения Минимум 2000 V Максимум 5000 V
	в) для асинхронного пуска с разомкнутой несекционированной обмоткой возбуждения	20-кратное номинальное напряжение возбуждения плюс 1000 V, но не более 8000 V
6	Возбудитель синхронных машин	Двойное номинальное напряжение плюс 1000 V
7	Вторичные обмотки (ротора) асинхронных двигателей, замкнутые постоянно „накоротко“	Не испытываются
Примечание. В асинхронных моторах с короткозамкнутым ротором специальной конструкции с изолированными стержнями роторная клетка относительно корпуса испытывается напряжением 1000 V.		
8	Вторичные обмотки асинхронных двигателей, не предназначенных для реверсирования, не замкнутые постоянно „накоротко“	Двойное номинальное напряжение на кольцах плюс 1000 V
9	Вторичные обмотки асинхронных двигателей, предназначенных для реверсирования, не замкнутые постоянно „накоротко“	4-кратное номинальное напряжение на кольцах плюс 1000 V

пусом и с землей. Все обмотки машины, кроме испытуемой, при испытании должны быть соединены с землей.

Примечание. Соединенные между собой многофазные обмотки считаются за одну фазу, если начала и концы каждой фазы не выведены к специальным зажимам. Если несколько машин соединены между собой последовательно, то, кроме вышеуказанного испытания изоляции каждой машины, изоляция связанных электрически обмоток машин испытывается по отношению к земле напряжением, соответствующим испытательному напряжению системы.

§ 7. Если одна из обмоток машины электрически связана с корпусом, то при испытании изоляции соединение обмоток с корпусом должно быть прервано.

Примечание. При установлении испытательного напряжения за номинальное напряжение обмотки в данном случае считается наибольшее напряжение, которое существует при номинальном режиме работы между обмоткой и заземленным корпусом машины.

§ 8. Устанавливаются следующие испытательные напряжения для различных частей электрических машин (см. стр. 134).

§ 9. Частота испытательного напряжения должна быть равна номинальной частоте машины или 50 Hz.

§ 10. Стандартная форма кривой испытательного напряжения — синусоидальная.

Примечание. Для машин постоянного тока малой мощности высокого напряжения, в частности для радиомашин, значения испытательных напряжений, указанных в § 8 настоящего раздела, должны быть уменьшены в $\sqrt{2}$ раза.

§ 11. При испытательном напряжении выше 5000 V испытание должно начинаться при напряжении, меньшем $\frac{1}{8}$ испытательного напряжения. Напряжение затем должно повышаться постепенно до испытательного напряжения, однако с такой быстротой, какая допускает возможность правильного отсчета показаний измерительных приборов. Испытательное напряжение должно выдерживаться 60 сек. При увеличении напряжения на 25% сверх номинального не должны появляться скользящие разряды.

Результаты испытания изоляции повышенным напряжением считаются удовлетворительными, если во время испытания не происходит ни пробивания, ни перекрытия скользящих разрядов и если путем наблюдения за потреблением тока будет установлено, что испытательное напряжение не повредило изоляции.

Примечание. Явление короны во время испытания не должно рассматриваться, как несоответствие нормам электрической прочности.

Опыт ставится следующим образом. Сейчас же после опыта нагрева все обмотки машины разъединяют и от них отключают все приборы, провода, аппаратуру. Выводные концы, если они гибкие, растягивают бечевкой так, чтобы они были возможно дальше от окружающих частей. Затем соединяют между собой и с корпусом все обмотки, кроме испытуемой, включаемой, как показано на рис. 89. Таким образом подвергается испытанию изоляция этой обмотки относительно корпуса и других обмоток. Испытав по приведенным выше правилам одну обмотку, ее соединяют с другими, от них отъединяют следующую, и также испытывают. Таким путем поочередно испытываются все обмотки, каждая тем напряжением, которое предписано приведенными выше нормами. Можно было бы, конечно, испытывать относительно корпуса несколько обмоток, соединенных вместе, что иногда для боль-

шей скорости (при серийном и массовом производстве) приходится делать, но в случае пробивания может быть неизвестна обмотка, которую пробило, и нужно повторить испытание, разъединив обмотки, что крайне нежелательно, так как это испытание понижает электрическую прочность изоляции. Помимо того, такое испытание не дает проверки изоляции между обмотками.

Для того чтобы получить высокое регулируемое напряжение переменного тока, необходимое для испытания, применяется однофазный потенциальный регулятор, соединенный со специальным высоковольтным трансформатором. Иногда в цепь включается омическое сопротивление

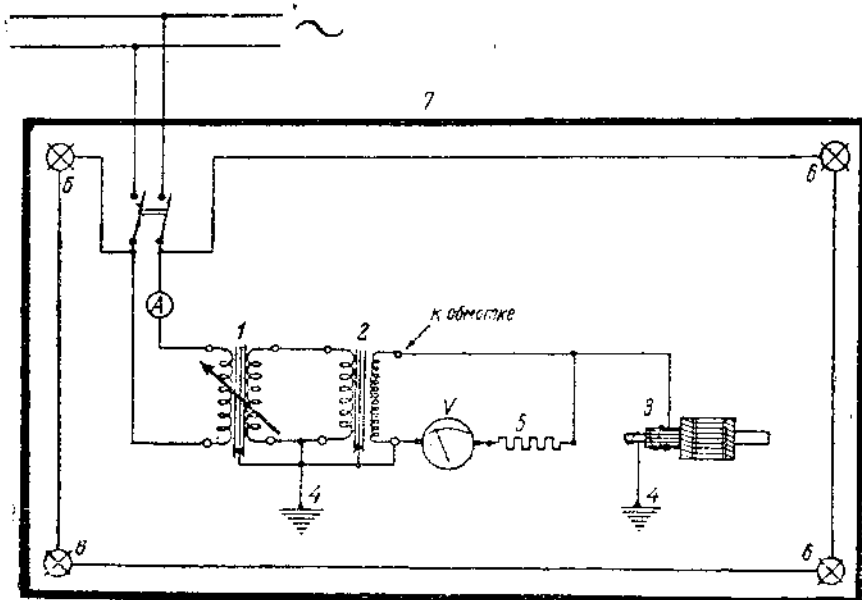


Рис. 89. Схема для испытания диэлектрической прочности изоляции.
1 — потенциальный регулятор; 2 — трансформатор; 3 — испытываемая обмотка; 4 — заземление;
5 — добавочное сопротивление; 6 — сигнальная лампа; 7 — ограждение.

ление для ограничения токов короткого замыкания, возникающих при пробое обмотки. Первичная и вторичная обмотки трансформатора одним концом соединены с корпусом, который должен быть заземлен. Однофазный потенциальный регулятор представляет собой асинхронную машину, у которой на роторе и статоре имеется по одной обмотке¹⁾ (каждая может состоять из нескольких катушек). Ротор заторможен и может поворачиваться червяком так же, как у обычного потенциального регулятора (см. гл. VI, § 4). При повороте ротора напряжение потенциального регулятора плавно изменяется. При отсутствии потенциал-регулятора напряжение можно регулировать при помощи реостатов, включенных в первичную обмотку трансформатора. Как правило, это не рекомендуется, вследствие возможного искажения формы кривой высокого напряжения.

¹⁾ Кроме того имеется добавочная короткозамкнутая обмотка для уменьшения индуктивного сопротивления.

Все заземления, указанные на рис. 89, должны быть обязательно осуществлены. Для измерения напряжения, к стороне высокого напряжения присоединяется вольтметр с добавочным сопротивлением (или с трансформатором напряжения).

Измерительный прибор при включении с добавочным сопротивлением должен обязательно соединяться с заземленным проводом, так как при неверном соединении прибор находится под полным напряжением относительно земли, что опасно для жизни наблюдателя. Вообще, во время опыта должны быть приняты все меры предосторожности: все сигнальные лампы должны быть исправны; провод высокого напряжения должен быть недоступен для прикосновения, удален от окружающих предметов и должен опускаться только у объекта испытания.

По возможности, у места испытания должен стоять человек и не допускать никого близко. Это особо необходимо, когда испытываемая машина находится вдали от испытательной установки. Во время испытания не нужно прикасаться к окружающим предметам. Отсчитывать по прибору нужно быстро, чтобы не затягивать время подъема напряжения.

Напряжение поднимают до необходимой величины, поддерживают его неизменным в течение одной минуты, а затем быстро уменьшают до нуля. Пробивание изоляции заметно по резкому падению напряжения в момент пробоя. Помимо того, если место пробоя доступно, то в нем видны искры и слышен их треск.

Следует отметить одно явление, часто происходящее при испытании прочности изоляции щеточного устройства. Здесь часто пробивает по угольной пыли, осевшей на щеткодержателях и траверзе. В этом случае следует очистить и продуть возможные места пробоя и несколько раз повторить испытание, „прожечь“ пыль, после чего пробивание может прекратиться.

Глава V.

ИСПЫТАНИЯ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА.

§ 1. ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ.

Испытания всех типов машин можно разбить на две группы. К первой группе относятся испытания вновь спроектированных или очень ответственных машин, для которых важно произвести как подробную проверку расчета, так и наиболее полную оценку пригодности для заданных условий. Испытания, отнесенные к этой группе, мы назовем *подробными* испытаниями.

Для машин серийного или массового производства, первые образцы которых подробно испытаны, достаточно ограничиться лишь необходимым минимумом возможно более простых испытаний, имеющих контрольный характер. Эти испытания мы отнесем ко второй группе и назовем *нормальными* испытаниями. Естественно, что нормальные испытания входят как часть в программу подробных испытаний.

Ниже приводится программа подробных и нормальных испытаний машин постоянного тока, за исключением рассмотренных выше (см. гл. IV) предварительных испытаний, обязательных для всех типов машин.

Программа подробных испытаний.

Нормальные испытания состоят из пунктов, отмеченных звездочкой.

* I. Предварительные испытания, — общие для всех типов машин, см. гл. III.

II. Основные испытания.

1. Опыт холостого хода.

* Испытание повышением напряжения.

* Снятие кривой намагничивания.

* Определение потерь холостого хода.

2. Опыт короткого замыкания.

Снятие характеристики короткого замыкания.

Определение потерь короткого замыкания.

3. Проверка коммутации.

Снятие потенциальной диаграммы под щеткой.

Определение переходного сопротивления щеток.

Определение зоны безискровой коммутации.

4. Определение причин искрения и его устранение.

Определение причин искрения по отдельным признакам.

- Определение необходимой величины междужелезного пространства (зазора).
Определение необходимого числа витков добавочных полюсов.
5. Опыт нагрузки.
Снятие внешней характеристики и определение напряжения при сбросе нагрузки.
 - * Проверка „компаундировки“ (для генераторов).
 - * Снятие скоростной характеристики (для двигателя) ¹⁾.
 - * Обозначение зажимов машины.
 - * Перегрузка.
 - Тепловое испытание.
 6. Определение к. п. д.
 - * 7. Испытание диэлектрической прочности изоляции

§ 2. ОПЫТ ХОЛОСТОГО ХОДА.

В опыте холостого хода производятся следующие испытания:

1. Производится проверка витковой изоляции.
2. Снимается кривая намагничивания, которая служит для проверки расчета магнитной цепи машины.
3. Определяются потери холостого хода, знать которые необходимо для определения к. п. д. и контроля качества сборки активного железа и подшипников.
4. Тепловое испытание для определения нагрева машины косвенным методом.

Следует сказать, что опыт х. х. является как бы испытанием машины напряжением, в то время как опыт к. з. является испытанием током.

Испытание повышенным напряжением. Согласно ОСТ 3888, это испытание называется испытанием изоляции витков. О машинах постоянного тока там говорится:

1. Испытание изоляции витков служит для обнаружения повреждения изоляции между соседними витками или секциями обмотки.
2. Испытание изоляции витков производится при холостом ходе машины в течение 5 минут. При испытании напряжение повышается на 30% сверх номинального путем увеличения возбуждения и повышения скорости вращения, но не более чем на 15% сверх нормальной.

Примечание 1. У коллекторных машин повышение напряжения допустимо лишь до предела, при котором среднее напряжение между коллекторными пластинами получается не выше 21 V.

3. Для контроля результатов испытания перед и после испытания изоляции витков повышенным напряжением — должно быть произведено измерение сопротивления обмоток.

К этому нужно добавить, что следует измерять сопротивление изоляции до и после испытания. После испытания сопротивление изоляции может оказаться меньше, чем до испытания, но не должно быть меньше норм, указанных в гл. II, § 14.

¹⁾ Снимается только одна точка для номинальных условий.

Средним напряжением между коллекторными пластинами при испытании следует считать напряжение при испытании изоляции, деленное на число пластин между соседними щетками.

Опыт ставится до снятия характеристики холостого хода. Машина работает в режиме генератора по схеме рис. 90. Увеличивая ток воз-

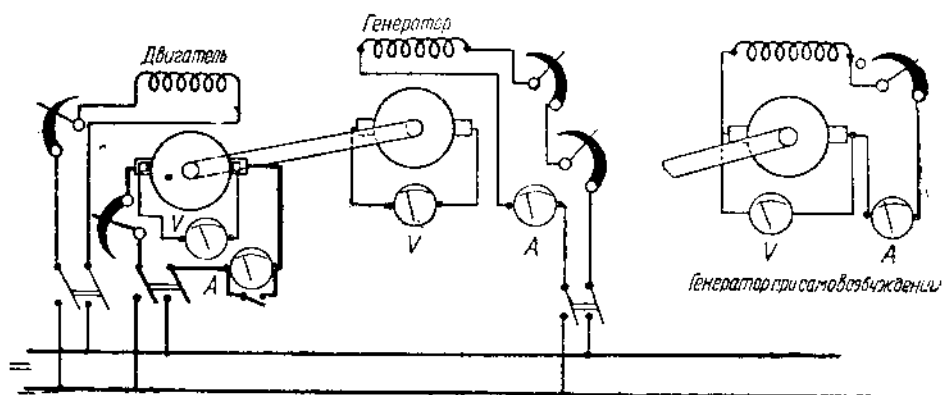


Рис. 90. Схема для испытания машины постоянного тока. Испытуемая машина приводится во вращение тарированным двигателем.

буждения, доводят напряжение до 130% номинального, держат его в течение 5 минут и затем снимают. У насыщенных машин увеличивают скорость вращения, как об этом сказано выше.

Во время этого испытания необходимо внимательно следить за машиной, так как при пробое витковой изоляции происходит витковое замыкание (обнаруживается по резкому уменьшению напряжения и искрению). В последнем случае необходимо быстро снять возбуждение.

Кривая намагничивания.

Кривой намагничивания называется зависимость между током возбуждения и напряжением якоря при работе генератора с постоянной скоростью вращения, без нагрузки. На рис. 91 показана кривая, изображающая эту зависимость, называемая кривой намагничивания, так как при постоянной скорости вращения напряжение якоря будет пропорционально величине магнитного потока машины.

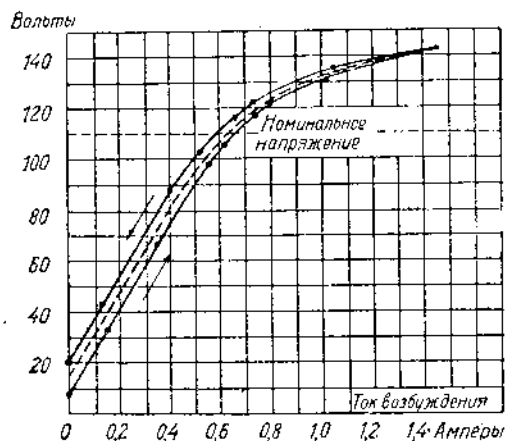


Рис. 91. Кривая намагничивания.

Если кривая намагничивания снимается в режиме генератора при независимом возбуждении (см. схему рис. 90), то порядок работы следующий: поддерживая скорость вращения постоянной, поднимают на не-

сколько секунд напряжение до 130% от нормального для проверки цепи возбуждения; затем приступают к снятию кривой намагничивания (характеристики). Точки записывают, поднимая напряжение вверх до максимума и снижая до минимума, как видно на рис. 91, при этом получатся две ветви. Менять ток возбуждения можно только в одну сторону, идя вверх, и дав какой-либо ток возбуждения, — нельзя его уменьшать для регулировки; идя же вниз, нельзя увеличивать; в противном случае точка попадает на другую ветвь кривой. Если все же это произойдет, то нужно начать опыт сначала, не повторяя точек, снятых до испорченной. Рекомендуется снимать следующие точки для напряжений в процентах от номинального: по восходящей ветви — без возбуждения, 30%, 60%, 90%, 95%, 100%, 110%, 120%, 130%; по нисходящей ветви — 110%, 100%, 80%, 40%, без возбуждения. Запись ведется, как показано в образце бланка на рис. 92.

В том случае, если скорость вращения не удастся поддерживать постоянной, нужно тщательно измерять ее для каждой точки и затем пересчитывать на ту, которая принята за основную. Делать это можно потому, что при неизменном возбуждении и отсутствии нагрузки, напряжение пропорционально скорости вращения. Пересчитывать можно по формуле:

$$E = \frac{n_0 \cdot E_{\text{изм}}}{n_{\text{изм}}}, \quad (47)$$

где: E — искомое напряжение,

$E_{\text{изм}}$ — измеренное напряжение,

n_0 — скорость, принятая основной,

$n_{\text{изм}}$ — скорость, измеренная при снятии точки.

На этом же основании можно снимать кривую намагничивания не при номинальной скорости вращения (если это почему-либо затруднительно), а при любой другой, и пересчитывать напряжение для номинальной скорости вращения. Для этого напряжения, полученные при снятии всех точек, нужно умножить на число, полученное от деления номинальной скорости вращения на ту, при которой производилось испытание.

Как видим, на кривой рис. 91 при токе возбуждения, равном нулю, напряжение на якоре все же имеется; напряжение это — от остаточного магнетизма.

Для снятия кривой намагничивания при самовозбуждении собирается схема, показанная отдельно на рис. 90. Все, что было сказано относительно снятия кривой намагничивания при независимом возбуждении, остается в силе и в этом случае.

Если нет возможности снять кривую намагничивания в режиме генератора, то можно это сделать, пустив машину двигателем. Подводимое напряжение нужно менять, давая те значения, которые были приведены для генератора. При каждом значении напряжения, меняя ток возбуждения, нужно получить номинальную скорость вращения. Таким образом, мы получим те же точки напряжения и соответствующего им тока возбуждения, за исключением точек, соответствующих остаточному магнетизму. Менять возбуждение для достижения номинальной скорости вращения нужно осторожно, потому что, перейдя за них и

ГЕНЕРАТОР — ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА
ТИП В-255. ЗАКАЗ № 00-0000. МАГНИТН. СИСТЕМА № 000000.
ЯКОРЬ № 000000
ЗАКАЗЧИК:

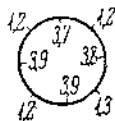
42 kW, 115 V, 365 A, 750 об/мин в режиме генератора, продолжительно.
 . . . kW, . . . V, . . . A, . . . об/мин в режиме
 Исполнение открытое с вентиляцией на . . . подшипн., привод — электродвигатель
 Направление вращения со стороны привода правое, Шкив — м у ф т а.
 Возбуждение параллельное — последовательное — смешанное — независимое от . . . V
 Якорь имеет . . . вентилятор

1. Сопротивления обмоток и повышения температур

5. Характеристика холодного хода

		При 20° С	При 15° С	После исп. на нагрузку	Повышение температуры		Сопротивл. изоляции	Число об/мин	Напряжение		Ток возбужд.	
					по со-прот.	по тер-мом.			1°—2 В Вольт	1°—0,1 А Ампер		
Якорь	Пластин-ны 1—24	0,0130			—	36,5	15	750	82,4	164,8	137,0	13,70
	750							74,9	149,8	98,7	9,87	
	Пластин-ны 1—25	0,0132						750	65,1	130,2	68,0	6,80
	750							57,9	115,8	54,3	5,43	
	Сред-нее	0,0131	0,01285	—				750	49,1	98,2	41,9	4,19
								750	37,2	74,4	28,7	2,87
	Шунтовая последоват. добавочн. полюса	11,67	11,43	12,78	26,0	19,5	30	750	23,1	46,2	16,3	1,63
		0,00165	0,00162	0,00148	22,0	16,5	100	750	10,8	21,6	6,5	0,65
		0,00365	0,00358	0,00403	28,0	24,5	100	750	2,6	5,2	0	0
		Коллектор	—	—	—	—	35,0					

2. Зазор в мм пред-измеренный:
 Вид со стороны кол-лектора



3. Якорь испытан на угонную скорость 900 об/мин в течение 2 мин.
4. Испытание произведено с 20 щетками марки ГЗ 16 × 30 × 35 на 4 стержнях

6. Испытание на нагрузку

Падения напря-жения

Показания термометров

Время	Число об/мин	Напряж. якоря 1°=1 V	Ток якоря 1°=5 A	Ток воз-бужд. 1°=0,1 A	Шунтов. обмотк. 1°=1 V	Послед. обмотк. 1°=0,02 V	Добавочн. полюса 1°=0,02 V	Шунтов. обмотка	Послед. обмотка	Добавоч. полюса	Окруж. среда	Примечания
16 ⁰⁰	750	115,0	73,4	48,9	—	—	—	—	—	—	—	Щетки на нейтраль Щетки сдвинуты вперед на 2 мм Перегрузка 50% в теч. 2 мин. Перегрузка 25% в теч. 30 мин. Номинальная нагрузка
	750	102,3	0	43,4	—	—	—	—	—	—	—	
	750	115,0	73,2	53,8	—	—	—	—	—	—	—	
	750	116,2	0	54,3	—	—	—	—	—	—	—	
	750	115,7	110,8	50,2	74,8	—	—	—	—	—	—	
16 ³⁰	750	115,2	90,9	55,9	70,2	—	—	—	—	—	—	
	750	115,2	91,2	56,0	71,3	—	—	—	—	—	—	
17 ⁰⁰	750	114,9	73,0	52,3	67,2	32,8	74,0	36,0	36,0	44,0	19,0	
17 ³⁰	750	114,9	73,0	52,3	66,8	32,7	73,8	37,0	35,0	43,0	18,0	
18 ⁰⁰	750	114,7	73,1	52,3	66,8	32,6	73,7	37,0	35,0	43,0	18,0	
18 ³⁰	750	114,7	72,8	52,3	66,8	32,4	73,5	38,0	35,0	43,5	18,5	
19 ⁰⁰	750	114,7	72,8	52,3	66,8	32,4	73,5	38,0	35,0	43,0	18,5	

7. Испытание обмоток на про-бывание

Шунтов. обм. 1500 V в течение 1 мин.
 Якорь и прочие 1500 V в течение 1 мин.

8. Искрение при перегрузке 50% на одной щетке нижнего пальца; в остальных случаях без искрения

Испытан 19 ²⁸/_{VIII} 35 г. И. Иванов Проверено 19 ³⁹/_{VIII} 35 г. П. Петров Выписан 19 ²⁹/_{VIII} 35 г. С. Сидоров.

Рис. 92. Пример протокола испытаний машин постоянного тока.

желая подрегулировать скорость, мы попадаем на другую ветвь кривой и приходится начинать работу сначала. При снятии первой точки — 30% номинального напряжения, машина может не взять с места, тогда нужно ей помочь развернуться вручную. На рис. 93 дана схема, соответствующая этому опыту; якорь испытуемой машины питается от отдельного генератора, меняя возбуждение которого, меняем напряжение, подводимое к якорю испытуемой машины. Если машина невелика, то можно питать ее от сети постоянного тока через реостат. Возбуждение же испытуемой машины питается от сети с напряжением не ниже номинального для машины.

Определение потерь холостого хода. Второй задачей опыта холостого хода является определение потерь энергии на холостом ходу. Как уже было сказано в первой главе, определение потерь необходимо для определения к. п. д. машины. Помимо того, определение потерь на холостом ходу дает возможность проверить, являются ли они нор-

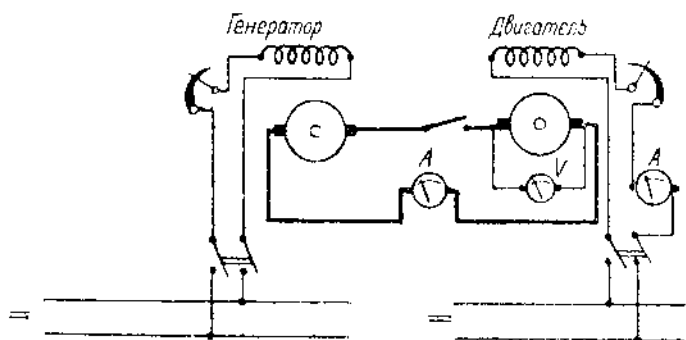


Рис. 93. Схема соединений в опыте холостого хода в режиме двигателя.

мальными для данной машины. Ненормально большие потери кроме того, что снижают к. п. д., являются признаком дефекта сборки активного железа или подшипников, в зависимости от того, какие из потерь ненормально велики.

Потери на холостом ходу складываются из следующих:

1. От трения в подшипниках — так называемые потери в подшипниках $P_{\text{п}}$.
2. От трения частиц охлаждающего воздуха о стенки машины и между собой — так называемые „вентиляционные потери“ $P_{\text{вент}}$.
3. От трения щеток о коллектор, причем энергия этих потерь идет на нагревание коллектора и щеток $P_{\text{щ}}$.
4. Потери в железе якоря от гистерезиса и токов Фуко $P_{\text{ж}}$.

Примечание. Сумма потерь в подшипниках и вентиляционных называется механическими потерями — $P_{\text{мех}}$.

Определение потерь можно производить при работе машины в режиме и генератора (при помощи тарированного двигателя), и двигателя.

Определение потерь при помощи тарированного двигателя. Если машина испытывается в режиме генератора, то вращать ее нужно

тарированным двигателем, т. е. таким двигателем, у которого известны потери при любой нагрузке. Измерив потребляемую тарированным двигателем мощность и вычтя из нее потери в самом двигателе (при этой мощности), мы получим мощность, отдаваемую двигателем испытуемой машине. О тарировке двигателя см. ниже (стр. 146).

Определение потерь обычно производится одновременно со снятием кривой намагничивания.

На рис. 90 дана схема для определения потерь при помощи тарированного двигателя постоянного тока.

Во время опыта ток возбуждения двигателя и скорость вращения агрегата нужно поддерживать постоянными (изменяя напряжение, подводимое к якору двигателя). Напряжение на якоре двигателя нужно снимать двумя щетками, расположенными на bracketах разной полярности и изолированными от остальных. Для этого между щеткодержателем, в котором находится такая щетка, и bracketом прокладывается тонкая полоска прессшпана или слюды, а жгутик щетки отключается от собирательной шины и присоединяется проводом к вольтметру.

В качестве тарированного двигателя также может быть применен достаточно удобно и точно асинхронный двигатель. Желательная схема измерения мощности при этом — схема Арона (схема с двумя ваттметрами).

Тарированный двигатель может иметь мощность, значительно меньшую мощности испытуемой машины, и должен обладать хорошей коммутацией. Такой двигатель имеет смысл ставить, если не предполагается опыт нагрузки, так как этот последний требует от двигателя мощности, не меньшей номинальной мощности испытуемой машины; опыты же холостого хода и короткого замыкания требуют не больше 10% номинальной мощности испытуемой машины.

Нажим щеток на испытуемой машине должен быть заранее тщательно отрегулирован, так как трение о коллектор составляет значительную часть потерь холостого хода.

Как правило, машины должны быть сцеплены муфтой, лишь в крайнем случае их можно поставить под ремень, причем расстояние между шкивами должно быть возможно меньшим, для того чтобы ремень был легким. Шкивы по возможности одного диаметра (для уменьшения скольжения ремня) и желательно выпуклые. Перед началом и во время опыта желательно проверять тахометром скорость вращения обеих машин, для того чтобы выяснить, не слишком ли велико скольжение ремня, — и если оно значительно, то уничтожить натягом ремня (смазка ремня пастой нежелательна).

Порядок работы. 1. Нужно пустить машину с номинальной скоростью вращения и дать ей поработать некоторое время, чтобы прогрелись все трущиеся части (подшипники), и затем уже производить определение потерь, причем механические потери (вместе с вентиляционными) рекомендуется определять дважды, так как они могут меняться с изменением температуры подшипников и воздуха.

2. Возбудить генератор до 110% номинального напряжения и произвести измерения потребляемой двигателем мощности по амперметру и вольтметру в цепи якоря; затем проделать то же, снизив напряжение до 100%, 90% и т. д., как для кривой намагничивания. Затем, зная потери двигателя, подсчитать отдаваемую испытуемой машине мощность, которая целиком идет на покрытие в ней потерь; этим опре-

деляются полные потери холостого хода: $P_{\text{мех}} + P_{\text{ж}}$ для различных значений напряжения.

3. Снять возбуждение и опять найти потребляемую испытуемой машиной мощность так же, как и в предыдущем случае. Эта мощность будет меньше, потому что при снятом возбуждении отсутствует магнитное поле (если пренебречь остаточным магнетизмом), и следовательно, исчезают потери на гистерезис и токи Фуко (потери в железе). Следовательно, этим измерением определяются $P_{\text{мех}} = P_{\text{п}} + P_{\text{вент}} + P_{\text{ц}}$, а разность между предыдущим измерением и этим дает потери в железе — $P_{\text{ж}}$.

4. Не останавливая машины, снять на ходу щетки, устраняя тем самым потери на трение щеток. Снова измерить потребляемую испытуемой машиной мощность, которая покрывает теперь только потери на трение в подшипниках и трение воздуха: $P_{\text{п}} + P_{\text{вент}}$.

Запись ведется в приводимой ниже таблице.

Сила трения щеток о коллектор зависит от марки щеток и их числа, поэтому то и другое следует записать в графе „примечания“. Графа „потери холостого хода“ заполняется по данным вычислений, производимых после опыта, как о том говорилось выше.

Тариров. двигатель					Испытуемая машина						Примечания
Ток возбуждения	Ток якоря		Напряжение якоря		Скорость вращения	Ток возбуждения	Напряжение	Потери холостого хода			
$I^\circ =$	$I^\circ =$		$U^\circ =$		об/мин	$I^\circ =$	$U^\circ =$	W			
Град. А	Град.	А	Град.	V		Град.	А			Град.	

Определение потерь по способу двигателя. Определение потерь холостого хода можно также произвести, пустив машину вхолостую двигателем при номинальных напряжении и скорости вращения, по показаниям приборов. Мощность, потребленная машиной, за вычетом потерь в меди якоря, является потерями холостого хода. Измеряется она также по току и напряжению, причем это последнее снимается двумя изолированными щетками так же, как и у тарированного двигателя. Потери в меди (на нагревание обмотки) якоря равны:

$$P_{\text{ж}} = I^2 R_{\text{я}}, \quad (48)$$

где: I — ток в обмотке якоря во время опыта,
 $R_{\text{я}}$ — сопротивление якоря.

Для того, чтобы разделить потери, нужно менять подводимое к якорю напряжение. При каждом значении напряжения нужно током возбуждения установить номинальную скорость вращения и измерить потребляемую мощность. Затем следует построить кривую зависимости потерь холостого хода от напряжения, показанную на рис. 94 жирной

чертой. Жирная черта обрывается на том напряжении, которое уже не в состоянии будет поддерживать номинальную скорость вращения. Продолжив по лекалу жирную линию (показано пунктиром) до оси ординат, получим механические потери. Разность между полными потерями холостого хода и механическими потерями даст потери в железе.

Потери в щетках можно определить, если измерить мощность, потребляемую двигателем при номинальной скорости при опущенных и при поднятых щетках. Поднимать щетки следует на ходу, но осторожно, чтобы не произвести короткого замыкания. Поднять следует до $\frac{1}{10}$ всех щеток, так как на холостом ходу ток мал и оставшиеся щетки не будут перегружены. Потерями в оставшихся щетках можно пренебречь.

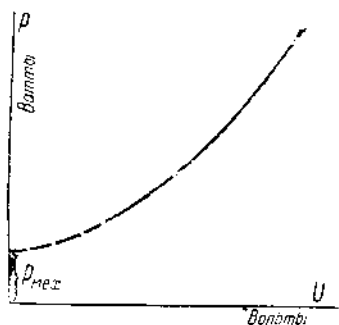


Рис. 94. Кривая потеря холостого хода.

Тарировка вспомогательного двигателя.

В том случае, если вспомогательный двигатель не был предварительно тарирован, можно тарировку произвести после испытания. Для этого сейчас же после определения механических и вентиляционных потерь нужно быстро расцепить муфту (или снять ремень), чтобы температура двигателя изменялась по возможности мало, и пустить двигатель при тех же напряжении и скорости вращения (регу-

лируя ее током возбуждения), какие были при определении потерь, и измерить потребление энергии двигателем. Разность между мощностью, измеренной при сцепленной муфте, и мощностью, измеренной при расцепленной муфте, дает мощность, потребленную испытуемой машиной. Для более точной тарировки следует иметь в виду, что у тарированного двигателя потери в якоре на холостом ходу и при нагрузке (когда он вращает испытуемую машину) различны. Поэтому величина потерь испытуемой машины меньше на величину разности потерь в якоре двигателя при нагрузке и без нее. Эта разность определяется по формуле:

$$P = R_a(I_2^2 - I_1^2), \quad (49)$$

где: P — разность потерь в якоре при нагрузке и

R_a — сопротивление якоря,

I_2 — ток в якоре при нагрузке,

I_1 — ток в якоре при тарировке.

§ 3. ОПЫТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Опыт короткого замыкания машин постоянного тока делается главным образом для крупных машин, которые трудно нагрузить. Опыт заключается в том, что машину пускают генератором, якорь замыкают накоротко через амперметр, и регулируя ток возбуждения, дают в якоре номинальный ток. Возбуждение при этом берется независимое, так как напряжение на зажимах машины ничтожно. В этом режиме машина потребляет незначительную часть номинальной мощности (так как очень

мало напряжение на якоре), но все части, кроме обмотки возбуждения, нагружены током так же, как и при нормальной нагрузке. Это дает возможность проверить нагрев машины, качество паяк и, частично, коммутацию; в этом же режиме производится сушка машины. Второй задачей опыта короткого замыкания является характеристика короткого замыкания, по которой можно судить о величине реакции якоря и потерях в нем. На рис. 95 дана схема соединения для опыта короткого замыкания.

Устойчивость работы. Машина, имеющая слишком сильные добавочные полюса, может в опыте короткого замыкания самовозбудиться, т. е. ток короткого замыкания может быстро и неограниченно возрасти. В машинах, не имеющих добавочных полюсов, это явление не происходит.

Чтобы создать устойчивый режим работы, нужно иметь на основных полюсах обмотку, которая ослабляла бы их по мере увеличения тока в якоре. Для этой цели может служить последовательная обмотка в компаундных машинах. Ее нужно включать последовательно с якорем и так, чтобы она размагничивала основные полюса. Если же такой обмотки нет, то можно сделать временную, намотав на основные полюса кабель или провод, рассчитанный на ток в якоре. При намотке следует не забывать, что полярность полюсов должна чередоваться, поэтому нужно менять направления намотки на каждом следующем полюсе. Число витков размагничивающей обмотки на каждом полюсе должно составлять 10—20% от числа витков на дополнительном полюсе.

В опыте короткого замыкания так же, как и в опыте холостого хода, машина работает в качестве генератора и приводится во вращение тем же тарированным двигателем.

Характеристика короткого замыкания. Порядок работы следующий. Машины пускают без возбуждения и медленно поднимают скорость вращения, так как иногда от остаточного магнетизма ток может оказаться больше номинального; в этом случае нужно машину размагнитить и затем продолжать опыт. Для того чтобы размагнитить машину, нужно разомкнуть цепь якоря и присоединить к ней вольтметр, рассчитанный на 10% номинального напряжения, который покажет напряжение от остаточного магнетизма полюсов. Затем нужно осторожно возбудить машину; если напряжение будет расти, то машина подмагничивается; тогда нужно переменить направление тока возбуждения и немного

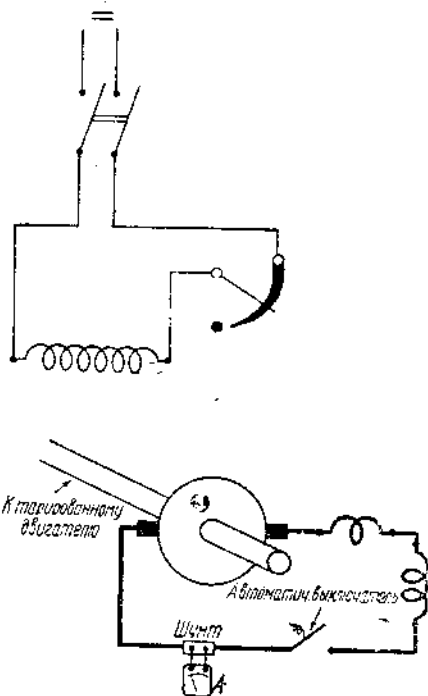


Рис. 95. Схема опыта короткого замыкания.

возбудить машину так, чтобы стрелка вольтметра переменяла направление показаний; переключив вольтметр нужно сделать напряжение большим, чем было от остаточного магнетизма, и выключив ток возбуждения, снова проверить напряжение от остаточного магнетизма; если стрелка будет стоять на нуле, то машина размагничена, если уйдет за нуль — недостаточно размагничена, если показывает больше нуля — намагничена в обратном направлении.

Затем следует замкнуть машину накоротко и дать возбуждение так, чтобы ток в якоре достиг 60% нормального, затем 80%, 100%, 130%. Для всех четырех точек записывают ток в якоре и ток возбуждения. Запись ведется, как показано ниже.

Во время опыта скорость вращения должна быть строго постоянной. Проводники, замыкающие якорь через амперметр, должны быть коротки и толсты; плотность тока в них должна быть не выше 4 А/мм² (ампер на кв. мм сечения провода). Очень удобны в этом

опыте амперметры с наружными шунтами, так как шунт может быть помещен у самой машины.

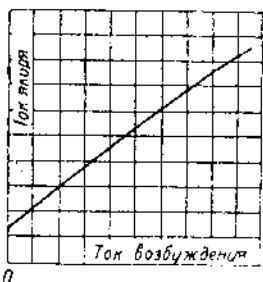


Рис. 96. Кривая короткого замыкания.

Реостат в цепи возбуждения должен иметь сопротивление раз в пять большее нормального шунтового реостата этой машины (и соответственно меньший ток), так как в режиме короткого замыкания уже при очень малом токе возбуждения возникает значительный ток в якоре.

Кривая короткого замыкания показана на рис. 96. Она представляет почти прямую линию, так как магнитное поле в этом опыте очень слабо, и нет явления насыщения железа

машины, которое имеется в опыте холостого хода и вызывает изгиб кривой намагничивания.

Потери короткого замыкания. Во время снятия кривой короткого замыкания следует определить мощность, отдаваемую тарированным двигателем, так же, как это делалось в опыте холостого хода.

Потерями короткого замыкания называются потери, вызываемые током, протекающим по обмотке якоря и последовательно включенным обмоткам.

Потери короткого замыкания в свою очередь подразделяются на потери в щеточном контакте, джоулевы и добавочные потери (см. ниже).

В опыте короткого замыкания мощность, потребляемая машиной, расходуется на потери короткого замыкания и механические. (Потерями в железе можно пренебречь, так как при коротком замыкании они очень малы.) Поэтому для определения потерь короткого замыкания достаточно вычесть механические потери из мощности, отдаваемой тарированным двигателем.

Джоулевы потери можно определить вычислением. Они складываются из потерь в обмотке якоря, обмотке дополнительных полюсов, компенсационной и последовательной. Вычисление производится по формуле:

$$P_{\text{дж}} = I^2 (R_a + R_d + R_k) \text{ ватт,} \quad (50)$$

где: I — сила тока в якоре,

$R_{\text{я}}$ — сопротивление якоря, при той температуре, которую он имел в опыте короткого замыкания,

$R_{\text{д}}$ — сопротивление обмотки добавочных полюсов и компенсационной при той же температуре,

$R_{\text{к}}$ — сопротивление последовательной обмотки при той же температуре.

Потери в щеточном контакте определяются по формуле:

$$P_{\text{щ}} = I \Delta U, \quad (51)$$

где: I — ток в якоре,

ΔU — падение напряжения в переходном сопротивлении между коллектором и щетками и в щетках, приблизительно равное 2 В.

Измерение падения напряжения в переходном сопротивлении и в щетках производится, как указано ниже. Измерение нужно произвести на нескольких щетках одной полярности и взять среднее значение, затем измерить на нескольких щетках другой полярности и также взять среднее значение. Сумма обоих средних значений дает значение напряжения в формуле (51).

§ 4. ПРОВЕРКА КОММУТАЦИИ

Процесс коммутации. Устройство машин постоянного тока таково, что в случае работы генератором в любой момент к положительной щетке подходит ток из двух противоположных сторон обмотки якоря, а с отрицательной — расходится в противоположные стороны по обмотке якоря. В двигателях от положительной щетки ток расходится по обмотке якоря, а к отрицательной сходится. На рис. 97 показано распределение токов в обмотке якоря генератора.

Свойство это, замечательное с точки зрения происходящих в якоре процессов, имеет одну неприятную сторону. На рис. 98 взята одна секция обмотки, показанной на рис. 97, замкнутая щеткой при трех положениях этой последней на коллекторе. Можно видеть,

что ток проходит в щетку как бы по двум половинкам ее, причем при движении щетки по коллектору одна половинка уменьшается, а другая увеличивается. Ток, отходящий из левой части обмотки, имеет два пути:

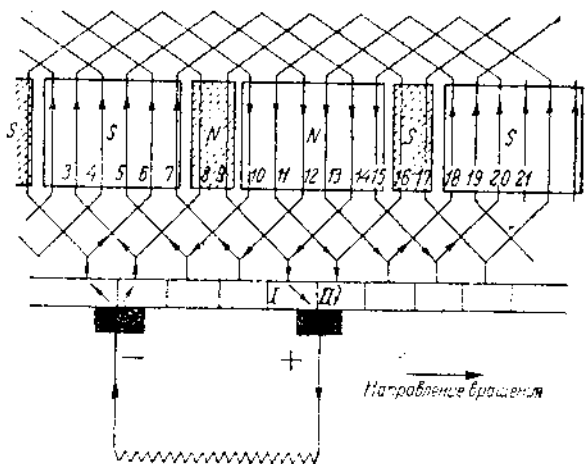


Рис. 97. Распределение тока в обмотке якоря генератора постоянного тока.

по левой половине щетки и через замкнутую секцию — по правой половине. Ток, подходящий с правой части обмотки, также имеет два пути: через левую половину щетки, и по замкнутой секции — через правую половину щетки. В каждый момент времени путь тока зависит от положения щетки относительно пластин коллектора, или же, иначе говоря, от переходного сопротивления между каждой пластиной и щеткой. На рис. 98а большая часть щетки покрывает правую пластину, следовательно, переходное сопротивление на ней меньше, чем на левой. Поэтому ток из правой части обмотки проходит по проводнику 11 через правую пластину, а из левой — частично через левую пластину, а частично через замкнутую секцию — в правую пластину. Отвешивающаяся часть тока в замкнутой секции показана пунктиром. На рис. 98б положение щетки изменилось, она поровну покрывает пластины, и переходные сопротивления между ними и щеткой одинаковы. При этом ток из левой части обмотки проходит по левой пластине,

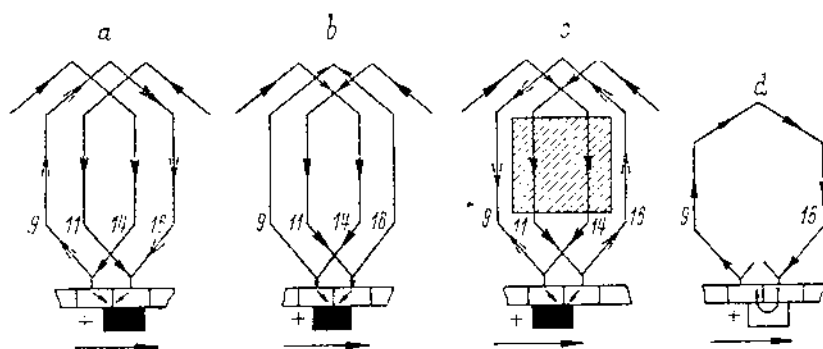


Рис. 98. Процесс коммутации в секции обмотки якоря.

а из правой части обмотки — по правой пластине. По замкнутой же секции ток не идет. На рис. 98с щетка передвинулась еще и теперь картина обратная: ток из правой части обмотки идет частично по правой пластине, частично через замкнутую секцию — по левой, а ток из левой половины идет по проводнику 14 через правую пластину. Что же произошло? В замкнутой секции, за время передвижения щетки, ток шел в одном направлении, затем исчез и возник в другом направлении; иначе говоря, в это время в ней имеется переменный ток. Этот ток создает вокруг секции переменное магнитное поле, которое, в свою очередь, индуцирует в ней электродвижущую силу (э. д. с.) самоиндукции; а так как секция замыкается щеткой накоротко, то в ней возникает ток короткого замыкания, выходящий из одной половины секции через пластину, идущий по щетке по ее ширине и возвращающийся через вторую пластину в секцию (рис. 98д). Этот добавочный ток является вредной нагрузкой, так как создает повышенную плотность тока под сбегающим краем щетки. Для того, чтобы уничтожить или ослабить его, ставят добавочные полюса; на них возлагается задача создать поле (так называемое коммутирующее поле), индуцирующее в замкнутой секции такую э. д. с., которая имела бы направление, противоположное э. д. с. самоиндукции. Эти две электродвижущие силы не

дают друг другу образовать добавочный ток в замкнутой секции. Очевидно, что добавочные полюса должны быть расположены над сторонами замыкаемой секции, т. е. в геометрической нейтральной зоне (в середине расстояния между смежными основными полюсами), что и имеет место в действительности. Одновременно добавочные полюса несколько ослабляют реакцию якоря (т. е. магнитное поле, создаваемое токами, протекающими в обмотке якоря).

На величину добавочного тока коммутации сильное влияние оказывает сопротивление щетки по ее ширине.

Машина, имеющая недостаточно хорошую коммутацию, может в нормальных условиях работать без искрения, но во время эксплуатации, при появлении дефекта на коллекторе или в щетках, легко начинает искрить. Поэтому при испытаниях машины производится проверка коммутации. Для проверки коммутации снимают потенциальную диаграмму под щеткой, измеряют переходное сопротивление щеток и снимают кривые подпитки добавочных полюсов, см. § 5 „Определение зоны безискровой коммутации“.

Потенциальная диаграмма под щеткой. Говоря о плотности тока под щеткой, мы как бы подразумеваем, что она во всех точках щетки одинакова, т. е. якобы через каждый см^2 поверхности соприкосновения щетки с коллектором проходит одинаковое число ампер. В действительности же коммутация может исказить распределение тока под щеткой, и на одном крае щетки плотность тока может быть значительно больше, чем на другом.

В том месте, где имеется большая плотность тока, происходит и большее падение напряжения, — в переходном слое между щеткой и коллектором. При правильной коммутации плотность тока под всей щеткой должна быть приблизительно одинакова. Проверка делается следующим способом (см. рис. 99): рядом со щеткой крепится к щеткодержателю или удерживается рукой во время опыта полоска картона с 4—6 дырочками. В эти дырочки поочередно вставляется мягкий карандаш, который служит маленькой щеточкой. Вольтметр, присоединенный к этому карандашу и щетке, дает разность напряжений между щеткой и коллектором (обычно не выше трех вольт). Как уже было сказано, по этой разности можно судить о плотности тока в той точке коллектора, над которой находится карандаш. Сделав измерение во всех отверстиях, строят по записи потенциальную диаграмму (см. рис. 100). На горизонтальной оси отложено расстояние по ширине щетки, а на вертикальной — напряжение между щеткой и коллектором. На рисунке изображено несколько типичных кривых для различной степени намагничивания добавочных полюсов. При нормальной коммутации напряжения на сбегавшем и набегавшем краях щетки одинаковы. При неправильной коммутации эти напряжения сильно разнятся, причем возможна перемена направления тока на одном крае щетки, там, где кривая напряжения опу-

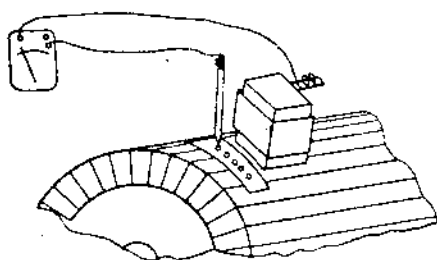


Рис. 99. Снятие потенциальной диаграммы под щеткой.

щена ниже горизонтальной оси. Во время опыта в этом случае приходится менять местами зажимы вольтметра. Такая кривая указывает на очень плохую коммутацию, она показывает резкое повышение переходного напряжения и следовательно плотности тока на одном крае щетки, а также увеличение средней величины переходного напряжения и средней плотности тока.

У машин, не имеющих добавочных полюсов, поле (реакция) якоря сдвигает поле основных полюсов. У генераторов сдвиг происходит

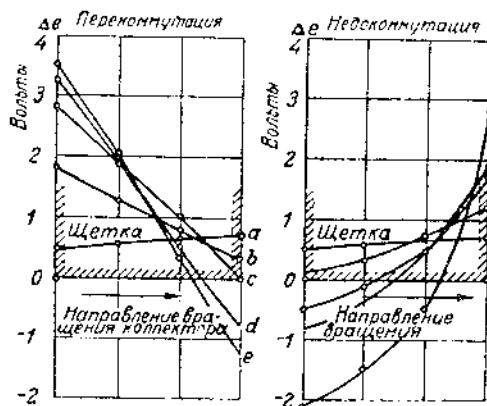


Рис. 100. Потенциальные диаграммы щетки.

Диаграммы сняты для положительной щетки генератора при различном возбуждении добавочных полюсов (подпитка). Левый рисунок для перевозбужденных полюсов (перекоммутация), а правый для недо возбужденных (недокоммутация).

Добавочные полюса перевозбуждены		Добавочные полюса недо возбуждены	
Кривая	Щетка	Кривая	Щетка
a	Без искрения.	a	Без искрения.
b	Незначительное каплевидное искрение на набегающем крае щетки.	f	Без искрения.
c	Несколько более сильное каплевидное искрение на набегающем крае щетки.	g	Каплевидное искрение на набегающем крае.
	Сильное искрение на набегающем крае.	h	Каплевидное искрение на набегающем и сбегающем краях.
e	Сильное искрение на набегающем и сбегающем краях.	i	Сильное брызгающее искрение на обоих краях и под щеткой.

в сторону вращения, а у двигателей — против вращения. Это вызывает необходимость в сдвиге щеток в сторону смещения поля при нагрузке. Для получения необходимого коммутающего поля (т. е. уничтожающего электродвижущую силу самоиндукции) приходится дополнительно сдвигать щетки в ту же сторону. У генераторов сдвиг щеток производится по вращению, у двигателей — против вращения. С изменением нагрузки реакция якоря изменяется, а вместе с тем — сдвиг основного поля и, следовательно, коммутающего поля. Для нормальной коммутации следует щетки передвигать: при увеличении нагрузки — от нейтралей, при уменьшении — обратно к геометрической нейтралю.

В хороших машинах оказывается возможным установить щетки на нормальную коммутацию при двух третях нагрузки, причем при изменении нагрузки от 0 до полной машина работает без искрения. У некоторых же машин сделать это не удается и приходится изменять положение щеток с изменением нагрузки.

У машин с добавочными полюсами коммутирующее поле создается, как уже было сказано, этими полюсами, поэтому в случае ненормальной коммутации передвижение щеток с нейтрали не приводит к положительным результатам. Регулировка же коммутации производится регулировкой поля добавочных полюсов, как описано ниже в параграфе „Искрение и его устранение“ (§ 5).

Определение падения напряжения в щетках. Для определения падения напряжения в щетках нужно изолировать один щеткодержатель на каком-либо бракете, проложив между щеткодержателем и бракетом тонкую полоску слюды, прессшпана или другого изолирующего материала. К этой щетке и бракету следует присоединить вольтметр на 3 вольта. В цепи якоря должен быть амперметр для установления номинального тока. Переходное падение напряжения щеток одной полярности плюс падение напряжения в самих щетках определяется по показанию вольтметра.

Подобным же образом определяется падение напряжения в щетках другой полярности. Полное падение напряжения равно сумме полученных данных. Переходные падения напряжения неодинаковы у щеток разной полярности.

Прежде чем производить измерения, нужно убедиться в следующем. Коллектор должен быть отшлифован, щетки тщательно притерты и пришлифованы к коллектору и должны быть хорошо подогнаны к щеткодержателям. После установки изолированной щетки нужно ее заново притереть и, вращая машину 1—2 часа, пришлифовать ее до блеска, уничтожив царапины от стеклянной бумаги. На величину переходного сопротивления сильно влияет температура коллектора и щеток, поэтому желательно производить измерение в нормальных условиях после длительной работы.

§ 5. ИСКРЕНИЕ И ЕГО УСТРАНЕНИЕ

Из сказанного о коммутации видно, что щетка выполняет две функции: 1) снимает с коллектора ток во внешнюю цепь (или из внешней цепи в машину), 2) коммутирует ток замкнутой секции. Первый идет по высоте щетки от коллектора к щеточному канатику, второй — по ширине щетки от одной пластины коллектора к другой.

Некоторые иностранные фирмы выпускают щетки, имеющие по высоте сопротивление меньшее, чем по ширине. Этим достигается то, что добавочный ток коммутации сильно ослабляется, а падение напряжения основного тока незначительно.

Ниже описаны главнейшие причины искрения, признаки их распознавания и способы устранения, а затем указан порядок, в котором следует вести работы для отыскания причин искрения и их устранения.

Причины искрения. Причины искрения можно разбить на три категории:

- 1) Неправильная коммутация.

2) Дефекты электрической и магнитной цепи.

3) Дефекты токособирания.

Чаще всего имеются причины двух или всех трех категорий. Определить категорию искрения возможно по виду искрения и проверкой коммутации. Если искры желтые и длинные, щетки как бы „плюют“, то причины в дефектном токособирании, что-либо с коллектором и щетками. Если же искры синие и под щетками, — то плохая коммутация. При наличии искрения того и другого вида имеются причины искрения обеих категорий.

§ Коммутационное искрение. Искрение коммутационного характера в машинах без добавочных полюсов можно устранить или ослабить:

1) устранением дефектов токособирания, которые способствуют ком-

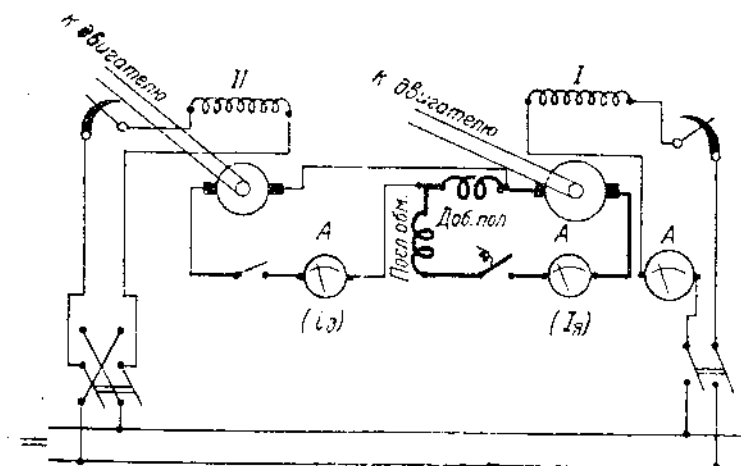


Рис. 101. Схема подпитки добавочных полюсов.

I — испытываемая машина. *II* — подпиточный агрегат.

мутационному искрению, 2) правильным расположением щеток на коллекторе и хорошей их притиркой, 3) регулировкой положения щеткодержателей относительно полюсов — передвижением траверзы в коммутирующее поле, 4) подбором марки щеток.

В машинах с добавочными полюсами возможности гораздо шире; помимо перечисленных, можно устранить искрение регулировкой поля добавочных полюсов. Прежде чем регулировать, нужно выяснить, следует ли ослаблять или усиливать поле добавочных полюсов.

Для этого добавочные полюса „подпитывают“. Машину пускают генератором в режиме нагрузки или короткого замыкания (предпочтительно первое), и устанавливают номинальный ток в якоре. В обмотку добавочных полюсов подают ток от постороннего источника. На рис. 101 дана соответствующая схема. Напряжение, подаваемое к добавочным полюсам, составляет всего несколько вольт, т. е. очень мало, а ток доходит до 10—15% от номинального, что в крупной машине может составлять до 500 А. Поэтому для этой цели реостаты неудобны, и лучше подавать ток от отдельного генератора с независимым возбуждением, что и показано на рис. 101. Работа производится в сле-

дующем порядке: испытуемая машина работает при некотором токе, начинают подпитывать полюса так, чтобы подпитывающий ток подмагничивал полюса; ток подпитки совпадает по направлению с основным током. Это, так называемая, положительная подпитка. Если искрение уменьшается при положительной подпитке, то это значит, что добавочные полюса слабы; подпитывающий ток увеличивают до полного прекращения искрения.

Если при положительном подпитывании искрение увеличивается, то это значит, что добавочные полюса слишком сильны. Тогда меняют направление подпитывающего тока на обратное так, чтобы он размагничивал добавочные полюса (отрицательная подпитка) и также находят величину подпитывающего тока, при которой искрение прекращается.

Если опыт подпитки производится в режиме короткого замыкания, то с изменением тока подпитки изменяется и основной ток машины:

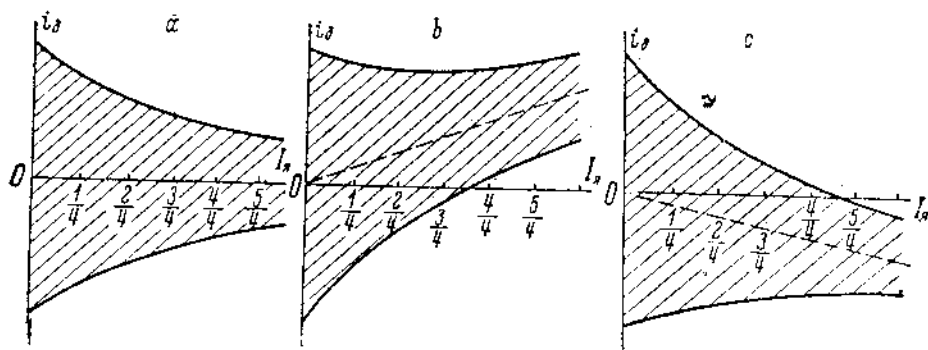


Рис. 102. Зоны безискровой коммутации.

Пунктирная линия, проведенная из начала координат, находится на равных расстояниях от верхней и нижней веток.

при положительной подпитке, когда течения подпиточного и основного токов совпадают по направлению, основной ток увеличивается, а при отрицательной подпитке, когда направление этих токов противоположно, основной ток уменьшается. Поэтому одновременно с изменением подпиточного тока необходимо регулировать основной ток так, чтобы он оставался неизменным.

Для упрощения перемены направления подпиточного тока в цепь возбуждения подпиточного генератора включен переключатель, как показано на рис. 101.

Определение зоны безискровой коммутации. Для определения нормальных условий коммутации и правильного расчета и регулировки добавочных полюсов, производится определение зоны безискровой коммутации, т. е. таких значений тока подпитки добавочных полюсов, между которыми машина не искрит. Для этого при холостом ходе машины ее подпитывают положительно до появления искрения, и затем отрицательно, также до появления искрения. Оба значения подпитывающего тока записывают. Затем это повторяют при $\frac{1}{4}$ нагрузки, при половинной нагрузке, при $\frac{3}{4}$ нагрузки, при номинальной нагрузке и при $\frac{5}{4}$ нагрузки. По записям строят кривые, показанные на рис. 102.

При построении на горизонтальной оси откладывают ток якоря I_a , а на вертикальной оси — ток подпитки i_d . Вверх по вертикальной оси откладывают ток положительной подпитки, а вниз — ток отрицательной подпитки. Заштрихованные поверхности на рисунке называются зоной безискровой коммутации. Чем шире зона безискровой коммутации, тем устойчивее машина в смысле безискровой работы.

Для того чтобы безискровая коммутация была наиболее устойчивой при всех нагрузках, нужно, чтобы подпиточный ток в добавочных полюсах в зависимости от тока якоря изменялся по прямой, проходящей по середине зоны безискровой коммутации, как показано пунктирными прямыми на рис. 102. Для случая, показанного на рис. 102а, эта прямая совпадает с осью абсцисс, т. е. подпиточный ток должен равняться нулю. Для случаев, показанных на рис. 102б и 102с, мы имеем соответственно положительную и отрицательную подпитку. Следует особенно подчеркнуть, что здесь говорится о том подпиточном токе, который необходим для обеспечения устойчивой безискровой работы при всех нагрузках (показан пунктирной прямой на рисунке), но не о том, который получен из опыта подпитки (сплошные линии на рисунке).

Зона коммутации, показанная на рис. 102а, соответствует наилучшей регулировке добавочных полюсов; средняя линия совпадает с осью абсцисс, иначе говоря, машина не требует подпитки и регулировки коммутации. На рис. 102б средняя линия проходит выше оси абсцисс, т. е. машина требует положительной подпитки, — следовательно, ее добавочные полюса слабы. На рис. 102с средняя линия опущена ниже оси абсцисс, машина требует отрицательной подпитки, — следовательно, ее добавочные полюса сильны.

На всех приведенных рисунках обе границы зоны безискровой коммутации сближаются с увеличением нагрузки и примерно при двойной нагрузке или несколько большей — пересекутся. После пересечения никакая регулировка добавочных полюсов не создаст безискровой работы и ослаблять искрение можно уже только подбором марки и ширины щеток и конфигурации башмаков добавочных полюсов.

Регулировка добавочных полюсов. Регулировку поля добавочных полюсов можно производить тремя способами:

I. Доматывать витки на добавочных полюсах при слишком слабом поле или отматывать при слишком сильном.

II. Уменьшать зазор под добавочными полюсами в случае слабого поля и увеличивать в случае сильного.

III. Шунтировать добавочные полюса в случае слишком сильного поля.

I. Увеличивать число витков в большинстве случаев затруднительно, в крупных же машинах, где обмотка добавочных полюсов сделана из массивных медных шин, и вовсе невозможно. Помимо того, такая регулировка груба, так как число витков на добавочных полюсах мало, и изменение их даже на один виток даст значительное изменение поля. Поэтому изменение числа витков производится только в малых машинах и главным образом в случае необходимости уменьшить их число. Изменять число витков нужно на такой же процент, какой составляет ток подпитки от тока якоря при его номинальном значении, причем

значение тока подпитки берется по пунктирной прямой рис. 103. Это выражается формулой:

$$w_1 = w \left(1 \pm \frac{i_d}{I_a} \right), \quad (52)$$

где: w_1 — новое число витков на добавочном полюсе,

w — старое число витков,

I_a — ток якоря,

i_d — соответствующий ток подпитки.

Может случиться, что число витков понадобится изменить не на целое число, а на целое число с дробью. Изменение на дробную часть витка возможно только в случае изменения на полвитка. Например, если нужно добавить 1,5 витка, то для этого следует изменить на одном полюсе число витков на 2, на следующем на один виток, на третьем на два, на четвертом — на один виток и т. д. Иногда встречаются машины с таким чередованием числа витков на добавочных полюсах и причиной искрения может служить такое расположение подобных полюсов, при котором они неправильно чередуются.

Так как при изменении числа витков полюса приходится разъединять, то при соединении вновь — нужно не спутать и произвести проверку соединений.

При увеличении числа витков нужно, по возможности, добавлять тем же проводом, которым намотаны полюса и во всяком случае не меньшего сечения. Если число витков уменьшается, то нужно это делать у полюсного башмака, если увеличивается, то у основания полюса. Пайки должны быть сделаны очень тщательно; лучше поручить эту работу обмотчику.

II. Чаше регулировку поля производят вторым способом — изменением зазора, для чего между ярмом и добавочными полюсами при изготовлении машины закладываются пакеты тонких железных листов. Если поле добавочных полюсов слабо, то зазор нужно уменьшить; для этого следует ослабить болты, крепящие добавочные полюса, и между каждым полюсом и ярмом добавить необходимое количество железных листов. При слишком сильном поле зазор нужно увеличивать, вынимая железные прокладки или заменяя их латунными. Лист должен быть из мягкого железа, размер его — по сечению добавочного полюса или немного больше; желательнее выгнуть его по ярму; к полюсу и ярму лист должен прилегать без зазора, и поверхность его должна быть гладкой. Листы под всеми полюсами должны быть одинаковой формы. Крепящие болты должны быть сильно затянуты.

Изменять зазор следует согласно формуле:

$$\delta' = \frac{\delta}{1 \pm k \frac{i_d}{I_a}}, \quad (53)$$

где: δ' — новый зазор,

δ — старый зазор,

i_d — ток подпитки,

I_a — ток якоря,

k — коэффициент, определение которого дается ниже.

Коэффициент k для формулы (53) определяется по нижеприведенной формуле:

$$k = \frac{AW_{д.п.} + AW_{к.о.}}{AW_{д.п.} + AW_{к.о.} - AW_{я}}, \quad (54)$$

где: $AW_{д.п.}$ — ампервитки добавочных полюсов,

$AW_{к.о.}$ — ампервитки компенсационной обмотки, если она имеется,

$AW_{я}$ — ампервитки якоря.

$AW_{д.п.}$ есть число, полученное умножением числа стержней обмотки дополнительных полюсов, находящихся в пределах полюсного деления, на ток в якоре, если все добавочные полюса соединены последовательно. Если же они соединены в параллельные ветви, то это произведение нужно еще разделить на число параллельных ветвей.

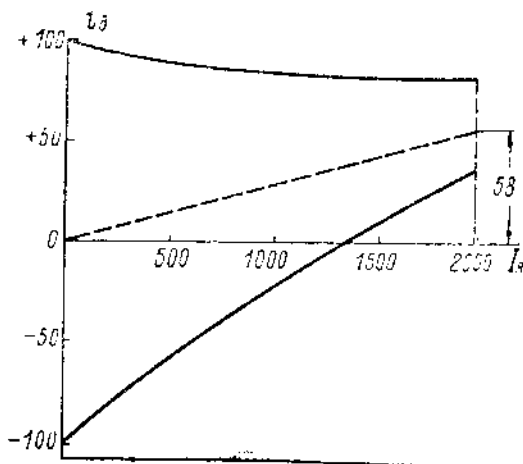


Рис. 103.

$AW_{к.о.}$ есть число, полученное от умножения числа стержней компенсационной обмотки, находящихся в одном основном полюсе, на ток в якоре. В том случае, если катушки компенсационной обмотки включены параллельными группами, нужно вышеуказанное число разделить на число параллельных ветвей.

$AW_{я}$ есть число, полученное от деления числа пазов якоря на число полюсов и число параллельных ветвей, и умножения частного на число проводников в пазу и на ток в якоре.

Пример. Двигатель постоянного тока МП-8 — 1500 л. с. 375 об/мин. 600 В, 2000 А. Число полюсов = 8. Число пазов якоря = 116. Число проводников в пазу = 60. Число параллельных ветвей обмотки $2a = 2p = 8$. Число стержней компенсационной обмотки в одном полюсе = 8; все включены последовательно. Число стержней на одной стороне добавочного полюса = 3. Катушки компенсационной обмотки и добавочных полюсов включены последовательно. Зазор 18 мм. Опыт подпитки с включенной компенсационной обмоткой дал зону безискровой коммутации, показанную на рис. 103. Как видим, добавочные полюса оказались слабы и для нормальной коммутации требуется ток подпитки 58 А при нормальном токе 2000 А.

Определим первоначально все ампервитки:

$$AW_{д.п.} = (3 \div 3) \cdot 2000 = 6 \times 2000,$$

$$AW_{к.о.} = 8 \cdot 2000 = 8 \times 2000,$$

$$AW_{я} = \frac{116 \cdot 6}{8 \cdot 8} 2000 = 10,875 \times 2000.$$

Коэффициент k по формуле (54) определится:

$$k = \frac{2000(6 \div 8)}{2000(6 \div 8 - 10,875)} = \frac{14}{3,125} = 4,48.$$

Новый зазор, согласно формуле (53), определится (в знаменателе берем знак $+$, так как зазор велик и его надо уменьшить):

$$\delta_1 = \frac{18}{1 + 1,18 \frac{58}{2000}} = \frac{18}{1,13} = 16 \text{ мм.}$$

У машин, работающих с большой перегрузкой (тяговые и прокатные двигатели) или же имеющих очень маленький зазор под добавочными полюсами, происходит явление насыщения железа добавочных полюсов. При этом сила поля их меняется непропорционально нагрузочному току, что вызывает искрение. На рис. 104а показана зона безискровой коммутации такой машины. Любая прямая, проведенная из начала координат, пересекает границу зоны коммутации до достижения номинального тока. Это указывает на то, что обычной регулировкой невоз-

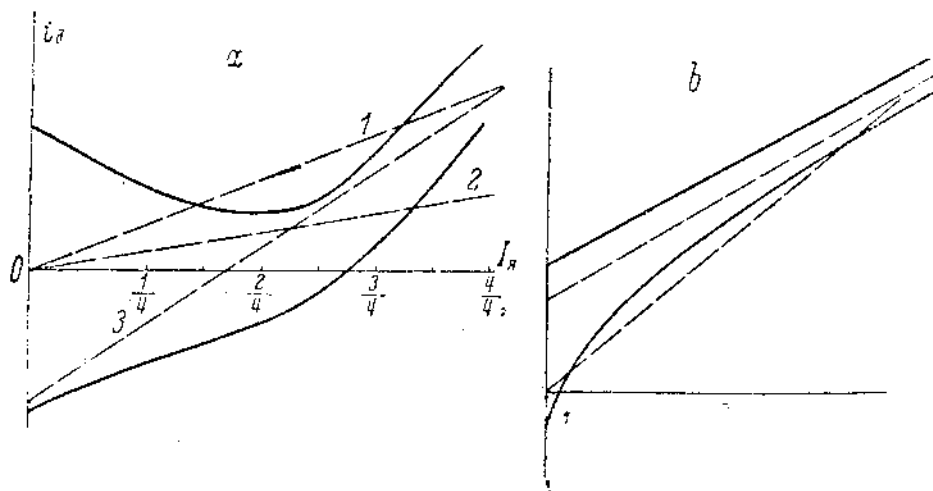


Рис. 104. Зоны коммутации машины, имеющей насыщенные добавочные полюса.

можно создать безискровую коммутацию. Однако, как видим из рис. 104а, линия 3, начинающаяся не в начале координат, может находиться в границах зоны коммутации. Для того чтобы осуществить возбуждение добавочных полюсов по линии 3, нужно на добавочные полюса поместить обмотку из тонкого провода, которая питается от постоянного напряжения и создает размагничивающее поле постоянной силы (шунтовая обмотка добавочных полюсов). Одновременно число витков основной обмотки добавочных полюсов должно быть увеличено.

Вторым выходом из положения является введение второго зазора с помощью замены железных прокладок между добавочными полюсами и станией немагнитными (латунь, медь).

Расчет шунтовой обмотки добавочных полюсов, а также второго зазора, вследствие сложности не дается, однако опытным путем нетрудно получить хорошие результаты, особенно регулировкой второго зазора.

Причиной, вызывающей неправильную зону безискровой коммутации, может быть влияние поля основных полюсов. Это наблюдается у машин, у которых зазор под добавочными полюсами составляет больше 7—10%

расстояния между главным и добавочным полюсами. Зона коммутации показана на рис. 104*b*. Исправление заключается в наложении шунтовой обмотки на добавочные полюса, которая подмагничивала бы их, или же уменьшением зазора под добавочными полюсами, иногда с одновременным ослаблением их поля.

III. Если подкладками не удастся достаточно уменьшить поля добавочных полюсов, то нужно ослабить ток добавочных полюсов, шунтируя их. При этом общий ток, проходящий через добавочные полюса и шунтирующее сопротивление, останется прежним. Способ этот является наименее желательным, потому что при резких толчках нагрузки распределение тока между обмоткой добавочных полюсов и шунтирующим сопротивлением меняется; по обмотке при увеличении нагрузки идет значительно меньшая часть тока, чем должна быть, а при резком уменьшении — значительно большая, вследствие чего в эти моменты появляется сильное искрение, исчезающее, когда нагрузка устанавливается. По этим соображениям в шунтирующее сопротивление нельзя отвечать больше 10% тока.

Для подсчета сопротивления шунта можно воспользоваться формулой:

$$R_{ш} = R_{\Delta} \left(\frac{I_a}{I_{\Delta}} - 1 \right), \quad (55)$$

где: $R_{ш}$ — искомое сопротивление шунта,

R_{Δ} — сопротивление обмотки добавочных полюсов (в горячем состоянии).

Шунт желательно выполнять в виде спирали для того, чтобы он обладал индуктивным сопротивлением, которое частично сглаживает неравномерное распределение тока при толчках нагрузки. Лучше всего делать его из ленты для достаточно хорошего охлаждения. Материал — никелин или нейзильбер.

Имеется большое количество установок, где происходят непрерывные толчки нагрузки (прокатные установки, тяга), для которых машины с шунтами обычного типа непригодны. В этих случаях применяются специальные шунты с железным сердечником, имеющие большое индуктивное сопротивление.

Более подробные сведения о регулировке добавочных полюсов можно получить в статье „Регулировка дополнительных полюсов машин постоянного тока“ инж. В. Т. Касьянова, журнал „Электричество“ 1934 г., № 20.

Дефекты электрической и магнитной цепи. Вторая категория причин искрения: дефекты в магнитной и электрической цепях машины, происшедшие при изготовлении или эксплуатации машины. Дефекты в электрической цепи сводятся к следующему:

1. Обрыв в обмотке якоря вызывает обгорание сбегающего края пластины, к которой присоединена оборванная секция. Проверка производится измерением сопротивления между всеми смежными пластинами коллектора. При этом сопротивления могут быть и не все одинаковы, но должны правильно чередоваться, как это говорилось выше (гл. IV, § 5). Чаше всего происходит обрыв соединительного провода между коллектором и обмоткой. В большинстве случаев имеет место не полный обрыв, а плохая пайка. При плохой пайке соедини-

тельного провода на коллекторе обнаруживаются два повышенные сопротивления рядом.

2. Плохие контакты: а) Плохой контакт в месте пайки петушков вызывает те же признаки, что плохие контакты в обмотке. Перепайку можно производить без разборки всей машины. После перепайки нужно отметить пластины, на которых производилась перепайка, для последующей проверки.

б) Плохой контакт между щетками и bracketами, между bracketами и собирательными шинами; в этом случае искрение появляется на соответствующих bracketах, причем имеет непостоянный характер, ослабевает и усиливается, и перебегает со щетки на щетку. Место плохого контакта нагревается. Искрят те щетки, у которых контакт с bracketами хорош (так как они перегружаются).

в) Плохая притирка щеток — в большинстве случаев эти щетки не искрят и холоднее других, хорошо притертых, в отличие от плохого нажима, когда они могут искрить сильнее других. Качество притирки обнаруживается осмотром контактной поверхности.

3. Замыкания: а) в обмотке якоря. При неполном замыкании не всегда появляется искрение, в случае же искрения — пластины, к которым присоединена секция с витковым замыканием, темнеют и обгорают меньше, чем остальные. Измерение сопротивления не всегда дает четкое представление о наличии виткового замыкания, так как может не быть большой разницы сопротивлений между целой обмоткой и обмоткой, имеющей витковое замыкание. Между пластинами, к которым присоединена замкнутая секция, сопротивление должно быть пониженное. При полном замыкании обмотка начинает дымиться, как только дают возбуждение машине.

б) Витковое замыкание в обмотке основных полюсов вызывает искрение щеток, находящихся под этим полюсом. Полюс нагревается меньше остальных. Случай этот довольно редкий. Замыкание небольшого числа витков не вызывает ненормальных явлений.

в) Витковое замыкание в добавочном полюсе также редко встречается; оно вызывает сильное искрение двух рядов щеток, между которыми расположен этот полюс. Проверка производится измерением сопротивления добавочного полюса.

г) Замыкание между пластинами коллектора (особо частое) попавшим между ними при пайке оловом и заусеницами при обточке. Это дает выгоревшие места между пластинами и бегущие по коллектору искорки. В случае полного замыкания пластин явления те же, что при витковом замыкании в якоре. Исправление — продорожить и отшлифовать коллектор. При замыкании пластин внутри коллектора явления те же, что и при витковом замыкании в якоре. Для проверки отпаивается обмотка и измеряется сопротивление изоляции между пластинами. Это делается при проверке виткового замыкания в якоре для того, чтобы не пустить в перемотку исправный якорь.

4. Неправильные соединения. а) Неправильное включение основного полюса вызывает искрение щеток, расположенных под противоположным полюсом у четырехполюсной машины и под полюсами, расположенными через один от неверно включенного при числе полюсов большем 4. При работе двигателем признаком неправильного включения полюса является повышенная скорость вращения, а в случае

работы генератором, машина не развивает напряжения. Проверить можно магнитной стрелкой или дать возбуждение неподвижной машине, при этом трудно повернуть якорь, — он прилипает к одной стороне.

б) Неправильное включение добавочного полюса вызывает искрение двух рядов щеток, расположенных по обе стороны от него. Неправильное включение всех добавочных полюсов к якору вызывает сильное искрение при малой нагрузке, исчезающее при переключении добавочных полюсов. Для обоих случаев проверка такая же, как указана в параграфе „Проверка обмоток“ (гл. IV, § 7). Наиболее простым и быстрым является все же переключение добавочных полюсов.

В магнитной цепи дефектами являются: а) неравномерность зазора и перекос полюсов. Отклонения от величины зазора в ту и другую сторону допустимы на 10—15%. Сработавшиеся подшипники вызывают оседание якоря и уменьшение зазора под нижними полюсами.

б) Неравномерное расстояние между полюсами дает искрение неодинаковой силы под различными рядами щеток. Особенно сильно сказывается на искрении неравенство расстояний между добавочными полюсами. Если нет возможности выравнивать эти расстояния, то нужно сдвинуть brackets так, чтобы каждый ряд щеток находился на середине расстояния между добавочными полюсами.

Дефекты токособираания. Третья категория причин искрения — плохое токособираание заключается главным образом в дефектах коллектора и щеточного хозяйства. Основными являются:

1. Щеткодержатели плохо установлены, стоят не вдоль пластин, наклонены, расстояния между щетками по окружности коллектора неодинаковы; допустимые отклонения для машин, которые работают не в очень жестких условиях, — 0,2—0,1 ширины пластины. Нужно огорвориться, что одинаковые расстояния между рядами щеток должны быть при одинаковых расстояниях между добавочными полюсами. Если какой-либо полюс значительно сдвинут, то в ту же сторону, но несколько меньше, следует сдвинуть щеткодержатели, находящиеся по обе стороны от этого полюса.

2. Вибрации щетки. Причины вибрации могут быть следующие: недостаточно жесткий щеткодержатель, большая высота щетки над щеткодержателем, слишком свободно сидящая щетка, недостаточный нажим, испорченная поверхность коллектора, вибрация коллектора.

3. Щеткодержатели, сидящие на круглых bracketах (пальцах), закреплены недостаточно жестко, и при работе, под действием силы трения щеток о коллектор, проворачиваются на bracketах, причем щетки перестают прилегать всей поверхностью. Особо часто это встречается у быстроходных машин. Дефект, требующий сугубого внимания.

4. Слишком слабый, слишком сильный и слишком неравномерный нажим на щетки. Отдельные щетки сильно нагреваются, а также сильно нагревается коллектор.

Проверить нажим щеток можно динамометром, и опытным путем установить необходимый нажим. Иногда очень полезно проложить между щеткой и нажимающим на нее рычажком пружинки кусочек эластичной резины в качестве амортизатора.

5. Щетки имеют плохую поверхность соприкосновения: пятна, обломанные края, выщербленную поверхность и т. п. Это может быть результатом плохого качества щеток или перегрузки щеток током.

В этом случае выщербленные места находятся там, где есть ненормально большая плотность тока. Явление частое при неправильной коммутации.

6. Щетки пригнаны настолько плотно, что при нагрузке нагреваются, расширяются и застревают в щеткодержателе. Щетка перестает искрить, если ее прижать к коллектору, но через короткий промежуток времени снова начинает искрить.

7. Щетки могут быть слишком узкие; на изменение ширины щеток следует идти, как на крайнюю меру, и лишь в том случае, когда другие меры не дают возможности устранить искрение.

8. Щетки одной полярности покрываются медью (так называемое омеднение) — явление, пока не нашедшее удовлетворительного объяснения, и проходящее само по себе со временем. Иногда помогает перемена полярности зажимов машины. При этом нужно не забыть переключить обмотки, реостаты, приборы, в зависимости от схемы, чтобы не нарушить режим работы.

9. Иногда бракетки из железа или стали имеют раковины внутри и обладают значительным сопротивлением, что вызывает неравномерное распределение тока под щетками. Это явление может наблюдаться у машин на большие токи. Единственный выход — смена бракеток.

10. Коллектор имеет выступающую слюду, иногда неощутимую на ощупь, вызывающую вибрацию щеток. Признаком может служить почернение пластин и обугливание слюды. В этом случае необходимо продорозживать коллектор, как о том говорилось в гл. IV, § 8.

11. Поврежденная поверхность коллектора — царапины, выбоины и волнообразная поверхность. Наиболее частая причина искрения. Необходима обточка или шлифовка, в зависимости от размеров повреждения. Следует иметь в виду, что отдельные царапины, даже глубокие, никакого влияния на искрение не оказывают в том случае, если их края отшлифованы и не задирают щетки.

12. Пластины коллектора ослабели. Для проверки нужно ударить слегка легким стальным молоточком по пластинам. При хорошем состоянии коллектора молоточек упруго отскакивает, при ослаблении пластин почти не отскакивает. Проверку нужно сделать тщательно, так как исправление сложно. Заключается оно в том, что коллектор нагревают до $110-120^{\circ}\text{C}$. При этой температуре шёллак, склеивающий слюду, размягчается; пока коллектор горячий — подтягивают нажимное кольцо или болты, находящиеся на торце коллектора со стороны подшипника. Подтягивать нужно равномерно по всей окружности. Коллектору надо дать остыть, затем обточить, продорозжить и отшлифовать его. Нагревать коллектор можно так, как это делается для сушки, — или же просто вращать, увеличивая нажим щеток при перегрузке на $20-30\%$, обернув траверзу асбестом или прессшпаном для уменьшения охлаждения. Вращать полезно и в первом способе; желательно с номинальной скоростью.

13. По окружности коллектора имеются перебегающие искры, вызванные тем, что коллектор покрыт слоем черного налета. Налет нужно снять тряпкой, смоченной в спирте или, в крайнем случае, в бензине. Последнее опасно, так как бензин легко воспламеняется. Лучше проделать это на остановленной машине или же на ходу, но при снятом возбуждении. Также необходимо протереть щетки, иначе слой грязи, имеющийся на них, снова загрязнит коллектор.

14. Эксцентричность коллектора, так называемый „бой“, для тихоходных машин не служит причиной искрения. Однако в машинах быстроходных, в особенности работающих при 3000 об/мин и выше это может служить причиной искрения, и в этом случае единственно правильным способом является шлифовка коллектора при номинальной скорости вращения наждачным камнем или пемзой, зажатой в суппорте.

15. Причиной искрения может быть также следующее явление: после нескольких часов работы поверхность коллектора темнеет и начинает блестеть, как говорят покрывается „политурой“. Эта политура очень способствует работе щеток и коллектора, уменьшая трение между ними. Если имелось мелкое искрение, оно исчезает с появлением политуры. Щетки и коллектор нагреваются меньше, чем до того, и щетки перестают скрипеть. Если такой коллектор почистить стеклянной шкуркой, то „политура“ портится, и все явления: нагрев, скрипение и искрение возобновляются, причем щетки могут начать задира́ть коллектор, на щетках оседает медь, а на коллекторе образуются царапины. Иногда политура сама портится. Для того чтобы облегчить возобновление политуры, нужно на ходу провести по коллектору кусочком парафина. Обильная смазка парафином вредна.

Отыскание причин искрения. Выше были перечислены причины искрения и указаны способы их определения. Отыскание причин искрения нужно вести в следующем порядке: проверив положение щеток на нейтрале, возбудить машину при разомкнутой цепи якоря и внимательно осмотреть все щетки. Если имеется искрение, то причина его — в обрыве обмотки, или, что бывает реже, в значительной вибрации щеток, которая вызывает прерывание цепи тока возбуждения. Это явление может наблюдаться, конечно, только в том случае, если машина работает с самовозбуждением. Затем следует постепенно нагружать машину. Если появится сильное искрение при 10—25% номинальной нагрузки, то скорее всего следует предполагать неправильное включение добавочных полюсов; тогда нужно их переключить (переменить местами концы добавочных полюсов, не меняя всех остальных соединений в машине), при этом искрение или исчезнет, или резко усилится, что и покажет, какое включение добавочных полюсов правильное. Если переключение затруднительно, можно проверить полярность магнитной стрелкой, как о том говорилось в гл. IV, § 7.

Если искрение медленно увеличивается с нагрузкой, то следует проверить все, что говорилось о щетках и коллекторе и одновременно постараться определить характер искрения. Если после приведения в порядок щеток и коллектора искрение не исчезает, то надо испробовать подпитку и произвести проверку коммутации.

Если машина стала искрить после нескольких часов работы, то нужно проверить, не заедают ли щетки в щеткодержателях от нагрева, не попорчена ли политура на коллекторе и затем уже выяснить, не образовались ли плохие контакты от нагрева в обмотке якоря.

Выбор марки щетки¹⁾. Одной из часто встречающихся причин искрения является неправильный подбор марки щеток.

Основные соображения для подбора марки щеток таковы: в целях наилучшей коммутации желательно иметь щетки с наибольшим пере-

¹⁾ О новых марках щеток см. табл. 14.

ходным сопротивлением и, следовательно, переходным падением напряжения — марки Т (см. табл. 14; указаны старые марки). Но эти щетки имеют большой коэффициент трения, что совместно с большим переходным сопротивлением может вызвать значительный перегрев коллектора и щеток. Эти щетки хороши в тех случаях, когда размеры коллектора допускают небольшую плотность тока, условия коммутации тяжелы, замена щеток затруднительна. Такими машинами являются тяговые и крановые двигатели. Марки Т, А нежелательно применять для машин напряжения меньшего 110 В, так как переходное напряжение велико по сравнению с номинальным напряжением.

Для машин, имеющих значительную плотность тока на коллекторе, следует брать щетки марки В2, ВС. Это главным образом генераторы постоянного тока от 220 вольт и выше. Для машин с большой плотностью тока и напряжением от 115 вольт следует брать щетки марки ВС. Марки М4, М1, МГ хороши для контактных колец из стали.

Марки МГ1, МГ2, МГ3 применяются для контактных колец быстрходных машин благодаря наименьшему для графитных щеток коэффициенту трения. Эти же щетки применяются при особо больших плотностях тока.

Для низковольтных машин постоянного тока 8—12 вольт применяются медно-графитовые щетки марок МГ1, МГ2, МГ3.

§ 6. ОПЫТ НАГРУЗКИ.

Испытание машины под нагрузкой является основным испытанием для проверки работы машины в условиях эксплуатации и определения ее пригодности. Ниже описываются характеристики, снимаемые при этом испытании (о способах нагрузки — см. § 7).

Внешняя характеристика. Напряжение генератора изменяется с изменением нагрузки¹⁾. Потребитель энергии заинтересован в возможно меньших колебаниях напряжения. Нормальный генератор с параллельным или независимым возбуждением при увеличении нагрузки от нуля до полной должен уменьшать напряжение не больше, чем на 5%; также при сбросе нагрузки от номинальной до нуля — напряжение не должно увеличиваться больше, чем на 5%.

Для определения изменения напряжения генератора при изменении нагрузки снимают внешнюю характеристику, под которой понимается зависимость напряжения машины от тока нагрузки, при условии, что машина работает с номинальной скоростью вращения, при установленном для нормальной работы положении щеток, при неизменном токе возбуждения, если оно независимое, или при неизменном сопротивлении

¹⁾ У шунтовых генераторов напряжение падает с увеличением нагрузки, у серийно-генераторов — повышается, у компаунд-генераторов, в зависимости от расчета, повышается или остается почти неизменным. Необходимо отметить следующий случай: если машина при номинальном токе имеет номинальное напряжение, то в любой точке сети, удаленной от зажимов машины, напряжение будет меньше благодаря падению напряжения на участке между этой точкой и зажимами машины. Если же в этой точке нужно иметь полное напряжение (при номинальном токе), то очевидно, что на зажимах машины оно должно быть выше. При изменении нагрузки падение напряжения в сети меняется, и для того чтобы напряжение у потребителя оставалось неизменным, необходимо повышение напряжения генератора с увеличением нагрузки на величину падения напряжения в сети. Компаунд-машины, удовлетворяющие этому условию, называются гиперкомпаундными.

шунтовой обмотки (т. е. не трогая реостата возбуждения после установки необходимого положения) при самовозбуждении. Меняя нагрузку, отмечают изменение напряжения.

На рис. 105 дана схема для снятия внешней характеристики шунтового генератора.

Порядок работы следующий: даем номинальную скорость вращения, возбуждаем машину до номинального напряжения ($U_{ном}$), что на кривой рис. 106 соответствует точке 1, затем, включая реостат нагрузки, даем 20%, 40%, 60%, 80%, 100% номинального тока, и для каждой точки записываем напряжение на зажимах машины. Все это время реостат возбуждения остается в неизменном положении, если машина работает на самовозбуждении; если же возбуждение независимое, реостатом поддерживается неизменный ток возбуждения. Скорость вращения

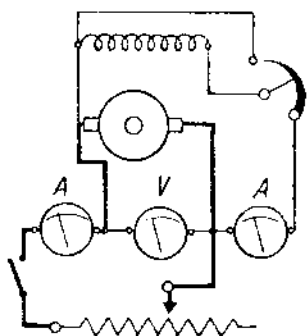


Рис. 105. Схема для снятия внешней характеристики.

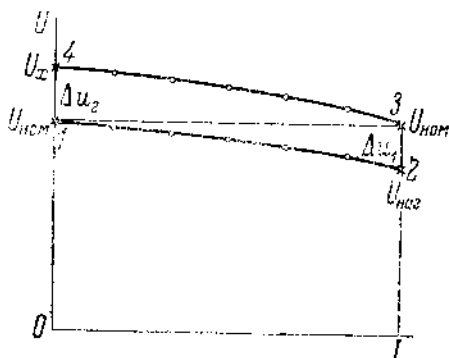


Рис. 106. Внешняя характеристика генератора постоянного тока.

ΔU_1 — падение напряжения при нагрузке, ΔU_2 — повышение напряжения при сбросе нагрузки.

с увеличением нагрузки стремится уменьшиться, поэтому нужно ее поддерживать неизменной, регулируя скорость двигателя.

Дойдя до номинального тока (точка 2, рис. 106), получим напряжение меньше номинального, реостатом возбуждения поднимаем напряжение до номинального значения (точка 3), и затем опять, не трогая реостата, уменьшаем ток нагрузки также через 20% при тех же условиях работы, что и раньше. При этом напряжение будет подниматься, и без нагрузки (в точке 4) оно достигнет наибольшей величины. Изменение напряжения от нуля нагрузки (точка 1) до полной (точка 2) называется падением напряжения при увеличении нагрузки. Изменение напряжения от полной нагрузки (точка 3) до нуля (точка 4) называется повышением напряжения при сбросе нагрузки и является тем колебанием напряжения, о котором говорилось выше. Выражается оно в процентах от номинального напряжения, и может быть подсчитано по формуле:

$$\left. \begin{aligned} \text{Падение напряжения } \Delta U_{1,0} &= \frac{U_{ном} - U_{нагр}}{U_{ном}} \cdot 100\%, \\ \text{Повышение напряжения } \Delta U_2 &= \frac{U_x - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\%, \end{aligned} \right\} \quad (54)$$

где: ΔU_1 и ΔU_2 — изменение напряжения в процентах от номинального,

$U_{ном}$ — номинальное напряжение,

U_x — напряжение холостого хода при сбросе нагрузки,

$U_{нагр}$ — напряжение при нагрузке,

Запись ведется, как показано ниже.

n	I_a		U		i_m		Примечания
об.маш	1° ---		1° ---		1° ---		
	Град.	A	Град.	V	Град.	A	

В том случае, если изменение напряжения оказалось больше допустимого, нужно его отрегулировать. Регулировку можно производить двумя способами (при необходимости — обоими): 1) сдвигом щеток, 2) серийной обмоткой.

При сдвиге щеток по направлению вращения — напряжение при нагрузке падает. Если машина имела гиперкомпаундную внешнюю характеристику, т. е. если напряжение с нагрузкой росло, то изменение напряжения после сдвига щеток по направлению вращения будет меньшее.

Если машина имела шунтовую внешнюю характеристику, т. е. напряжение падало с увеличением нагрузки, то сдвиг щеток против направления вращения вызывает меньшее падение напряжения с увеличением нагрузки.

Сдвиг нужно делать на ходу, если машина не очень крупная, подерживая номинальную нагрузку и скорость вращения. Для крупных машин сдвигать щетки на ходу опасно, поэтому следует это делать при остановленной машине или же, в крайнем случае, при снятом напряжении.

Сдвиг щеток допустим при отсутствии искрения. Для проверки, после установки в новое положение нужно дать 25% перегрузки. Если не будет заметного искрения, в таком положении щетки можно оставить. Машины с добавочными полюсами обычно не дают возможности значительно сдвигать щетки.

2. Регулировка напряжения серийной обмоткой применяется для машин со смешанным возбуждением и заключается в изменении числа витков последовательной (серийной) обмотки.

Прежде чем приступить к регулировке, следует проверить правильность включения обмотки. Для этой цели нужно определить изменение напряжения при различном направлении тока в последовательной обмотке, переключив ее концы. При этом следует помнить, что в некоторых машинах правильным является так называемое встречное включение последовательной обмотки¹⁾. Чтобы определить необходимое число

¹⁾ Встречное (дифференциальное) включение обмоток генераторов применяется редко, главным образом в сварочных машинах. Цель его в том, что при повышении тока понижается напряжение, что даст возможность ограничивать ток при значительных уменьшениях внешнего сопротивления, как это имеет место при сварке. Даже при почти полном коротком замыкании, что происходит при сварке, ток не превышает определенной величины.

витков последовательной обмотки, подпитывают последовательную обмотку, подобно тому, как это делается при подпитке добавочных полюсов. Параллельно последовательной обмотке нужно подключить генератор, могущий дать примерно 10% тока нагрузки испытуемой машины, при напряжении порядка 5—15 вольт. Последовательно с генератором включается амперметр. В том случае, если нет низковольтного генератора, можно использовать обычный генератор постоянного тока с независимым возбуждением, причем необходимо иметь возможность давать незначительный ток возбуждения. (В крайнем случае можно обойтись без вспомогательного генератора, шунтируя последовательную обмотку реостатом.)

Порядок работы следующий: испытуемой машине дают номинальную нагрузку при включенном подпиточном генераторе; если при этом получается напряжение, не удовлетворяющее нормам, то включая подпиточный генератор, и регулируя его ток, добиваются напряжения испытуемого генератора, удовлетворяющего нормам, и отмечают ток вспомогательного генератора. Во время работы ток нагрузки стремится немного измениться, его нужно поддерживать неизменным нагрузочными реостатами.

Сосчитав число витков последовательной обмотки, можно определить необходимое добавление или уменьшение числа витков по формуле:

$$\omega_1 = \omega \frac{I \pm i}{I}, \quad (55)$$

где: ω_1 — новое число витков последовательной обмотки,

i — ток добавочного генератора,

I — ток нагрузки,

ω — действительно число витков последовательной обмотки.

В том случае, если машина создает излишнее повышение напряжения при нагрузке, ток подпитки (i) следует вычитать. Если же напряжение падает с увеличением нагрузки, то следует ток подпитки (i) прибавлять.

Если при подсчете оказывается дробное число витков (например 1,4) то нужно брать только целую часть, откинув дробную, если она меньше 0,5, и взять следующее целое число, если дробная часть больше 0,5.

Сосчитывать и менять число витков в обмотке на машине без ее разборки возможно лишь тогда, когда оно очень невелико, и обмотка не имеет общей рубашки; в противном случае требуется разборка машины. Эту работу лучше поручить специалисту-обмотчику, если имеется такая возможность. Следует помнить, что изменение числа витков должно производиться на каждом полюсе машины.

Скоростная характеристика. Скоростная характеристика снимается для двигателя, и имеет то же практическое значение, что внешняя для генератора. Она показывает изменение скорости вращения при увеличении и сбросе нагрузки. Это изменение не должно превышать 10% от номинальной скорости вращения (для шунтового двигателя).

Машину пускают двигателем и нагружают. Порядок работы таков: на холостом ходу устанавливают номинальное напряжение на зажимах машины при помощи реостата в цепи якоря, и номинальную скорость вращения при помощи реостата возбуждения. Затем дают нагрузку 20%, 40%, 60%, 80%, 100%. Для каждой из этих точек отмечают скорость

вращения (тахометр должен быть достаточно точен). Реостат возбуждения остается в одном положении, напряжение поддерживают постоянным. По записи строится кривая, как показано на рисунке 107 (между точками 1 и 2). Затем уменьшают ток возбуждения и, не меняя нагрузку так, чтобы ток в якоре двигателя остался неизменным, поднимают скорость вращения до номинальной (точка 3), и, уменьшая нагрузку, доходят до холостого хода (точка 4), при котором получается повышенная скорость вращения.

Запись ведется, как показано ниже.

U_a		I_a		$I_{ш}$		n	Примечания
1° =		1° =		1° =		об/мин	
Град.	V	Град.	A	Град.	A		

Изменение скорости вращения в процентах от номинальной подсчитывается так же, как изменение напряжения для генератора.

На рис. 107 дана скоростная характеристика шунтовой машины. У машины со смешанным возбуждением при согласном включении она опускается круче.

Двигатели с последовательным возбуждением можно пускать только под нагрузкой и установке под муфту, но не под ремень; нагрузочная машина должна работать на самовозбуждении для уменьшения опасности разброса.

Если изменение скорости вращения выходит из норм, то регулировкой последовательной обмотки можно его уменьшить. Регулировка последовательной обмотки производится так же, как для генераторов.

Если для достижения нужной скорости вращения при подпитке последовательной обмотки приходится ее подмагничивать, то нужно добавлять витки, если же размагничивать — то уменьшать.

Разница между генератором и двигателем компаунд в том, что в первом для прямолинейной внешней характеристики (неизменное напряжение с изменением нагрузки) обмотки включаются согласно, а в двигателе для прямолинейной характеристики они включаются встречно.

Двигатель компаунд при выключенной последовательной обмотке работает с шунтовой характеристикой и его скорость вращения уменьшается с увеличением нагрузки; если же последовательная обмотка включена встречно, то она размагничивает поле, создаваемое шунтовой обмоткой, и тем самым увеличивает скорость вращения. Это происходит в течение всего времени увеличения нагрузки, так как поле последовательной обмотки тем сильнее, чем больше нагрузка (оно создается током в якоре).

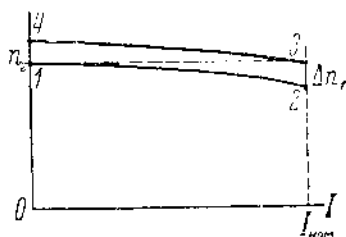


Рис. 107. Скоростная характеристика двигателя постоянного тока.

Δn_1 — падение скорости при нагрузке,
 Δn_2 — увеличение скорости при сбросе нагрузки.

При желании переключить двигатель компаунд со встречного включения на согласное или наоборот, нужно знать условия его работы, исходя из следующего: при дифференциальном включении, как сейчас сказано, машина поддерживает почти неизменную скорость вращения при всех нагрузках. Это бывает необходимо для агрегатов, скорость вращения которых не должна меняться. При согласном же включении, скорость вращения меняется значительно, но зато вращающий момент растет с увеличением нагрузки, что необходимо агрегатам, у которых нагрузка может резко меняться, а постоянство оборотов не столь важно.

Перегрузка. О перегрузке машин постоянного тока ОСТ 3888 говорит:

§ 1. Машины, предназначенные для продолжительной работы, должны выдерживать в нагретом состоянии кратковременные перегрузки, соответствующие 50% номинального тока, в течение двух минут, без повреждений и остаточных деформаций. Испытание на перегрузку должно производиться при номинальном возбуждении; возможное при этом повышение температуры в расчет не принимается.

Примечание 1. При испытании на перегрузку коллекторные машины должны работать таким образом, чтобы не возникло на коллекторе вредного искрообразования, причем коллектор и щетки должны оставаться в исправном состоянии, вполне пригодном для дальнейшей работы.

Примечание 2. Нагревание на зажимах машины при этом может несколько отличаться от номинального.

Примечание 3. Предъявляемое к генератору требование не может быть распространено на первичный двигатель в смысле предъявления к нему требований выдерживать перегрузку генератора.

§ 2. Все двигатели, при номинальном напряжении на зажимах, а двигатели переменного тока, кроме того, при номинальной частоте должны развить перегрузочный момент не менее 1,6 номинального момента для машин с продолжительной нагрузкой и не менее двойного номинального момента для машин с повторно кратковременной нагрузкой, если значение перегрузочного момента не установлено особым стандартом. Длительность испытания двигателя на перегрузочный момент ограничивается двумя минутами.

Двигатели считаются удовлетворяющими требованию в отношении перегрузочного момента, если определяемый экспериментальным путем перегрузочный момент отличается не более, чем на 10% от величины, указанной в настоящем пункте или оговоренной в технических условиях заказа.

К сказанному следует добавить, что при заводских испытаниях производят перегрузку на 25% в течение получаса.

Машину нагружают одним из описанных ниже способов, перегружают на 50% в течение двух минут, снимают нагрузку, останавливают машину, осматривают коллектор, обмотку якоря и щетки и если нет повреждений, — выгоревших мест, распявшихся пазов и т. п., снова пускают машину и перегружают ее на 25% в течение получаса. Во время перегрузки необходимо внимательно следить за коллектором и щетками, соблюдая однако осторожность, так как может перекрыть на щетках. Мелкое едва заметное искрение при перегрузке, не оставляющее следов на коллекторе и щетках, следует считать допустимым. Нагрузку при этом опыте необходимо поддерживать неизменной, помня, что она может изменяться от перегрева самой машины и реостатов.

Обозначение зажимов машины. В опыте нагрузки производится обозначения зажимов машины буквами, для того чтобы в будущем все соединения можно было бы делать без каких-либо испытаний. На рис. 108 даны обозначения, принятые и употребляемые на заводе „Электросила“. Следует иметь в виду, что в то время, когда писалась эта книга, разрабатывался Общесоюзный стандарт на обозначение зажимов машины, который будет отличаться от приведенного на рис. 108.

§ 7. СПОСОБЫ НАГРУЗКИ.

Крайне желательно испытывать машину в условиях нормальной нагрузки. Способов нагрузки существует два: непосредственный способ нагрузки и так называемая взаимная нагрузка.

Непосредственная нагрузка. Непосредственная нагрузка может осуществляться при работе машины двигателем или генератором. В случае работы генератором машина нагружается на реостаты или сеть. Подбор реостатов указан в главе III. Реостаты следует иметь

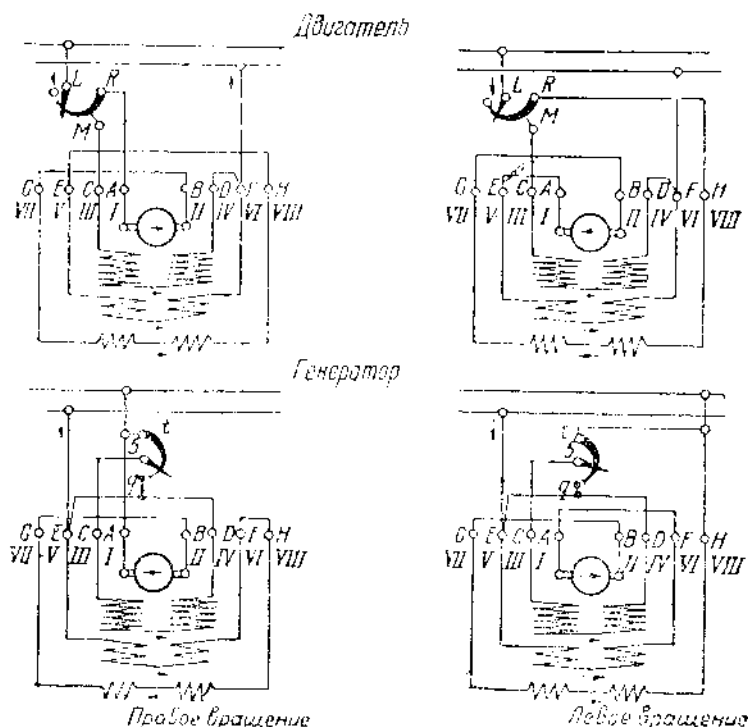


Рис. 108. Схемы соединений машины постоянного тока со смешанным возбуждением и добавочными полюсами.

Правое вращение — вращение по часовой стрелке, если смотреть со стороны привода.

с плавной регулировкой, так как схема нагрузки используется и для снятия внешней характеристики. При работе на сеть машина должна включаться по всем правилам параллельной работы машин постоянного тока. Правила эти подробно описаны в литературе (например Фролов: „Основы техники сильных токов“).

При непосредственной нагрузке машины в режиме двигателя, она должна вращать генератор постоянного или переменного тока, который грузится на реостаты или сеть. Источник постоянного тока для испытуемого двигателя должен иметь устойчивое напряжение; в качестве него удобен отдельный генератор, возбуждение которого можно регулировать с места испытания.

Взаимная нагрузка. Если имеются две одинаковые машины, их можно спарить и питать извне. Одна машина будет работать двигателем, потребляя энергию сети. Вторая будет работать генератором и отдавать энергию в сеть. Обе машины будут работать в условиях номинальной мощности, а весь агрегат будет потреблять энергию только на потери в обеих машинах. Энергия извне может подаваться непосредственно из сети или с помощью отдельного двигателя.

1-й способ. Энергия подается из сети. Схема показана на рис. 109. Обе машины спарены муфтой или ремнем. Порядок работы таков: замыкая рубильник *I*, подаем напряжение всей схеме, возбуждаем первую машину и, замкнув рубильники *II* и *III*, пусковым реостатом

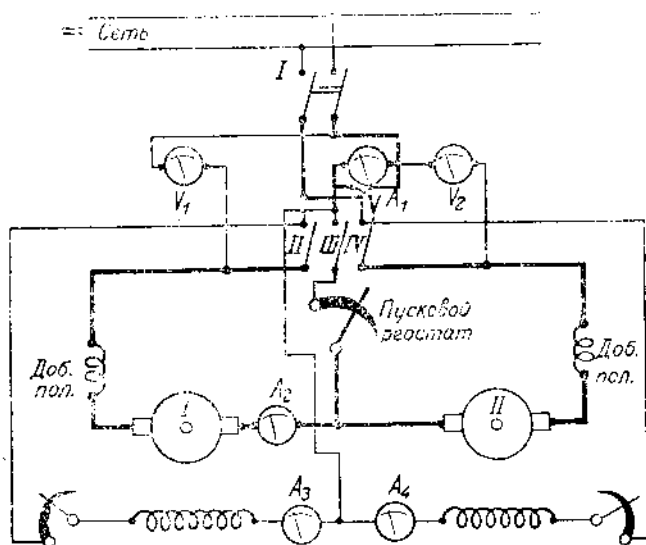


Рис. 109. Схема взаимной нагрузки машин постоянного тока.

пускаем первую машину, замечаем направление вращения. Выключаем эту машину, и через рубильники *III* и *IV* пускаем вторую машину. Для взаимной нагрузки направление вращения должно быть одинаково.

Пуск для взаимной нагрузки: пускаем одну машину двигателем, возбуждаем вторую до напряжения, равного напряжению сети, и включаем рубильник второй машины; увеличивая ее возбуждение, переводим ее в режим генератора, и дальнейшей регулировкой возбуждения производим нагрузку этой машины. Скорость регулируется реостатом возбуждения двигателя. Если первая машина (рис. 109) работает генератором, то амперметр A_2 показывает ток генератора, амперметры A_3 и A_1 — токи возбуждения соответствующих машин, амперметр же A_4 показывает ток меньший, чем амперметр A_2 — ток, потребляемый только на покрытие потерь в обеих машинах. Так как этот амперметр подбирается на небольшой ток, при пуске машин его необходимо шунтировать рубильником *V*. Последовательные обмотки машин и вольтметры, измеряющие падение напряжения на обмотках, для упрощения чертежа не показаны.

§ 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (к. п. д.).

Основные сведения относительно к. п. д. даны в I главе § 3. Здесь же даны указания для определения к. п. д. машины постоянного тока.

Определение к. п. д. методом измерения отдельных потерь. Как уже говорилось выше (I глава, § 3), наиболее точно к. п. д. получается определением подводимой или отдаваемой мощности и суммы потерь в машине [формулы (10) и (12)].

Подводимая или отдаваемая мощность определяется по формуле:

$$P = UI, \quad (56)$$

где: P — подводимая (для двигателя) или отдаваемая (для генератора) мощность в ваттах,

U — напряжение на зажимах в вольтах,

I — ток в амперах.

Сумма потерь определяется по формуле:

$$\Sigma P = P_0 + P_k = P_0 + I_a (R_a + R_d + R_n) + 0,01 UI + 2 \Delta UI, \quad (57)$$

где: ΣP — сумма потерь при нагрузке в ваттах,

P_0 — потери холостого хода, определяемые, как было описано выше (§ 2), в ваттах,

P_k — потери короткого замыкания в ваттах,

I_a — ток якоря в амперах,

R_a — сопротивление якоря в омах,

R_d — сопротивление добавочных полюсов в омах,

R_n — сопротивление последовательных обмоток в омах,

$0,01 UI$ — добавочные потери в ваттах, которые не измеряются, а принимаются по ОСТ'у равными $0,01$ мощности машины,

$2 \Delta UI$ — потери в переходном сопротивлении щеток, причем ΔU принимается равным 1 В и, следовательно, эти потери равны $2I$ ватт.

Потери холостого хода P_0 должны быть взяты при различных напряжениях для генератора и двигателя. По ОСТ'у:

Для генератора при напряжении E , равном:

$$E = U_{ном} + I_{ном} R + 2 \Delta U. \quad (58)$$

Для двигателя при напряжении E , равном:

$$E = U_{ном} - I_{ном} R - 2 \Delta U, \quad (59)$$

где: $U_{ном}$ — номинальное напряжение машины в вольтах,

$I_{ном}$ — номинальный ток машины в амперах,

R — сопротивление цепи якоря (вместе с последовательными обмотками и добавочными полюсами) в омах,

$2 \Delta U$ — 2 вольта.

Потери P_0 отсчитываются по кривой потерь холостого хода (при напряжении E). Сопротивления R_a , R_d , R_n получают измерением сопротивления. Величины $2 \Delta UI$ и $2 \Delta U$ принимаются так же, как указано

выше. Поэтому достаточно задаться каким-либо током I , чтобы определить к. п. д. при той мощности, которую развивает машина при этом токе.

Определение к. п. д. по способу взаимной нагрузки. Если взаимная нагрузка производится согласно схеме рисунка 109 (энергия подается электрическим путем), то к. п. д. определяется из показаний амперметров по формуле:

$$\eta = \sqrt{\frac{I_2}{I_2 + I_1}}, \quad (60)$$

где: I_2 — ток, измеренный амперметром A_2 ,

I_1 — ток, измеренный амперметром A_1 .

Для этого способа необходимо соблюдать следующие правила:

1. Машины должны быть совершенно одинаковые.
2. Машины должны вращаться при номинальной скорости.
3. Напряжение сети должно равняться номинальному.
4. За ток нагрузки принимается ток, равный

$$I = I_2 + 0,5 I_1. \quad (61)$$

5. Машины должны быть сцеплены муфтой. Возможно также соединение ремнем, но при этом необходимо знать потери ременной передачи и пользоваться формулой:

$$\eta = \sqrt{\frac{I_2 - \frac{P_{\text{рем}}}{U}}{I_2 + I_1}}, \quad (62)$$

где: $P_{\text{рем}}$ — потери в ременной передаче в ваттах,
 U — напряжение сети в вольтах.

Непосредственное определение к. п. д. В этом способе машина нагружается; измеряется подводимая и отдаваемая мощность, и с помощью формулы (8) (стр. 10) определяется к. п. д. Опыт производится с помощью тарированной машины, т. е. машины, к. п. д. которой известен при всех нагрузках¹⁾. Если испытываемая машина работает двигателем, то тарированная — генератором. Тарировка вспомогательной машины может производиться способом отдельных потерь.

Описанный способ применяется только в тех случаях, когда к. п. д. испытываемой машины меньше 0,8 (80%).

§ 9. ТЕПЛОВОЕ ИСПЫТАНИЕ.

Как уже говорилось в I главе, мощность электрической машины определяется, главным образом, температурой. Машину можно нагружать до тех пор, пока температура ее обмоток не достигнет такой величины, при которой изоляция может еще длительное время работать и выше которой начинает разрушаться. Нагрев зависит от режима работы машины. Если, например, двигатель работает с перерывами (крановый, например), то он может быть нагружен больше, чем если

¹⁾ Для двигателей небольшой мощности применяется специальный тормоз.

он работает непрерывно. Поэтому испытание на нагрев нужно делать в том режиме, в котором работает машина в нормальных условиях, и при нормальных условиях вентиляции; нельзя закрывать входы для воздуха или делать новые выходы. Подробные правила испытания на нагрев см. ОСТ 3889 (см. приложение 1).

Определить нагрев можно и непосредственно, нагрузив машину на длительную работу, и косвенным методом, по температурам, полученным при длительной работе в режиме холостого хода и короткого замыкания.

При непосредственном определении температуры машину нагружают в режиме двигателя или генератора и дают ей работать несколько часов, измеряя через равные промежутки времени температуру ее частей. Температура первоначально растет быстро, затем все медленнее, и через известный промежуток времени перестает изменяться; эта установившаяся температура и считается температурой работы машины в нормальных условиях. В течение всего опыта нагрузка должна тщательно поддерживаться неизменной.

Косвенный метод нагрева применяется, главным образом, для крупных машин, которые нагрузить не всегда оказывается возможным. Первоначально производят длительное короткое замыкание при номинальном токе до тех пор, пока температура всех частей не установится, затем длительный холостой ход при номинальном напряжении, также до установившейся температуры всех частей. Складывая установившиеся превышения температуры (перегревы) обоих опытов для каждой части машины, получают превышение температуры, которое должна иметь каждая часть при номинальной нагрузке. Понятно, что температуры подшипников это не касается. Температура, полученная косвенным методом, немного выше действительной температуры в условиях нагрузки, что дает гарантию от перегрева в нормальных условиях работы.

В опыте нагрева очень важно тщательно измерять температуру. Способы и общие правила измерения указаны во II главе. Здесь указываются наиболее удобные способы измерения температуры различных частей машины.

1. Температура обмотки возбуждения измеряется по термометру (для контроля) и сопротивлению.

Для измерения температуры по сопротивлению в цепи шунтовой обмотки должен быть амперметр, а к ее выводным концам должен быть присоединен вольтметр. Этот же вольтметр, с помощью переключателя, может служить для контроля напряжения якоря. Оба прибора в течение всего опыта нельзя заменять другими.

2. Температура якоря измеряется теми же способами, что и шунтовой обмотки, но только в остановленной машине. Одновременно измеряется в нескольких местах температура коллектора, термометрами или термопарами. Измерение температуры обмотки должно производиться в одних и тех же местах. Поэтому при измерении температуры в холодном состоянии места измерений помечают мелом или краской. Останавливать машину нужно быстро, но электрическое торможение устраивать нельзя, так как это вызывает добавочное нагревание. Лучше всего испытываемую машину выключить, а вспомогательную тормозить. Если измерение делается в середине опыта, то его следует произво-

дить быстро и сейчас же снова пустить машину во избежание остывания.

Измерить температуру в момент выключения тока невозможно, машина должна в течение известного промежутка времени остановиться и за это время ее температура меняется. Все же знать температуру в момент выключения тока можно. Для этого записываются секундомером, пускают его в момент выключения тока, машину тормозят и как только она останавливается, отмечают время и делают измерение сопротивления, затем повторяют измерение сопротивления еще через 4—6 равных промежутка времени. Закончив измерение, машину пускают снова, не теряя времени, если измерение производилось в середине опыта. Очевидно, что такая остановка требует наличия нескольких человек (выключение, торможение, отсчет по секундомеру и приборам, держание щупов). По полученным измерениям строят кривую изменения сопротивления в зависимости от времени, как показано на рис. 111. Продолжив ее по лекалу (пунктир) до пересечения с вертикальной осью, получим в точке пересечения значение сопротивления в нулевой момент времени, т. е. в момент выключения.

Сопротивление после выключения падает, но в некоторых случаях оно может начать снова увеличиваться, что и показано на рис. 111. Причиной служит то, что обмотка начинает нагреваться от более нагретых частей машины, что не может происходить в такой же мере во время работы, благодаря действию вентиляции.

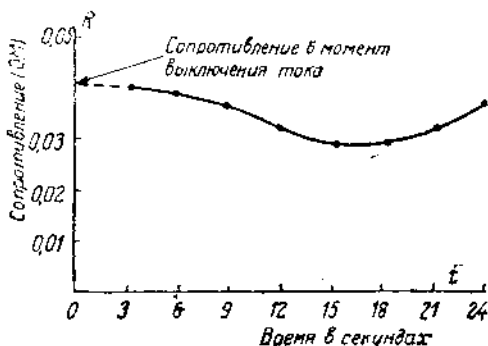


Рис. 111. Определение сопротивления обмотки якоря в момент остановки.

3. Температура последовательных обмоток: добавочных полюсов, компаундной и компенсационной измеряется так же, как шунтовой. Для измерения по сопротивлению измеряется падение напряжения в этих обмотках. Проводники для измерения напряжения должны присоединяться к самым концам обмоток, причем так, чтобы не измерять падения напряжения в контактах. Вольтметр должен быть подобран на малое напряжение (обычно 1—3 вольт), причем может быть один для всех последовательных обмоток и переключаться поочередно на каждую из них. Ток в этих обмотках измеряется по амперметру в цепи якоря, так как все эти обмотки соединены последовательно между собой и с якорем. В крупных машинах эти обмотки соединяются иногда между собой параллельными группами. Учесть ток в каждой группе не представляется возможным, поэтому можно измерять только среднее общее сопротивление и, следовательно, среднюю температуру. В этом случае следует проверять измерение термометром.

4. Температура щеток измеряется чаще несколькими термометрами, привязанными к щеткам. Однако, этот способ очень неточный и может дать ошибку до 50—75%, так как термометр не может хорошо прилегать к щетке и сильно охлаждается; помимо того, кренление и вес термо-

метра нарушают нормальные условия работы щетки. Гораздо лучше измерять температуру щетки термопарой. Нужно иметь одну термопару и поочередно прикладывать ее к разным щеткодержателям немного выше нижнего края. Температурой щеток считается средняя величина нескольких измерений, причем если среди этих измерений была резко повышенная или пониженная температура, то такие измерения не следует принимать в расчет, так как отдельные щетки могут перегреваться, или, наоборот, нагреваться очень мало. Следует иметь в виду, что действительная температура щетки выше, так как щеткодержатель гораздо лучше охлаждается. Включение нескольких термопар на brackets разной полярности опасно, так как между термопарами получается полное напряжение машины, и изоляция в термопарах или измерительном приборе может быть пробита.

5. Температура окружающего воздуха измеряется на высоте вала машины, на расстоянии 1,5—2 метров от нее. Если машина закрытая, то нужно, помимо того, иметь термометры на входе и выходе воздуха, растянув их на крепком шпагате по 2—3 термометра в самих отверстиях входа и выхода воздуха.

6. Температура железа в машинах постоянного тока обычно не измеряется, так как она непосредственного интереса не представляет.

Порядок работы в опыте нагрева таков: до пуска измеряется температура всех частей машины и измеряются сопротивления обмоток; предварительно машина должна стоять несколько часов для того, чтобы была уверенность в том, что измеренное сопротивление обмоток соответствует окружающей температуре. Затем машину пускают, нагружают и поддерживают нагрузку в течение всего опыта, — в случае косвенного метода поддерживается ток короткого замыкания и напряжение холостого хода. Температура измеряется и записывается каждые $\frac{1}{2}$ часа (якоря — через 1,5—2 часа). Согласно нормам ОСТ 3889, температура считается установившейся, если ее повышение за 1 час не превосходит 1°C ; но для гарантии правильности опыта лучше считать ее установившейся лишь после того, как три измерения дадут неизменную температуру всех точек измерения. По записям строится кривая нагрева. Приборы должны быть во все время одни и те же, так как изменение величин, измеряемых приборами, очень мало.

Глава VI.

ИСПЫТАНИЯ АСИНХРОННЫХ МАШИН.

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

Асинхронные машины, как правило, работают в качестве двигателей, при мало изменяющейся скорости вращения и значительно изменяющемся $\cos \varphi$, благодаря изменению нагрузки в широких пределах. Этими условиями и определяется задача испытания.

Асинхронные двигатели можно разделить на два типа: фазные и короткозамкнутые. Последние в свою очередь делятся на нормальные двигатели, двигатели с глубоким пазом и двигатели Бушера.

Двигатели с фазным ротором (т. е. с изолированной обмоткой ротора, присоединенной к контактным кольцам) отличаются значительным пусковым моментом и относительно малым пусковым током, сравнительно с короткозамкнутым двигателем. Наибольшим пусковым током и наименьшим пусковым моментом сравнительно с другими асинхронными двигателями обладают нормальные короткозамкнутые асинхронные двигатели. Двигатели с глубоким пазом и двигатели Бушера по этим показателям находятся между фазными и нормальными короткозамкнутыми двигателями. Двигатели Бушера имеют на роторе два больших колеса (клетки) — одно для пуска, другое для работы. Двигатели с глубоким пазом отличаются формой стержней ротора, закладываемых в глубокие узкие пазы.

Нужно сказать, что в настоящее время строят короткозамкнутые двигатели (с глубоким пазом или Бушера) мощностью в сотни и тысячи киловатт.

Асинхронные двигатели с фазным ротором, как правило, включаются на полное напряжение сети и пускаются пусковым реостатом. Во время нормальной работы — щетки (к которым присоединена обмотка ротора) замыкаются на коротко специальным рубильником (масляником) или же замыкаются на короткоконтактные кольца, а щетки поднимаются общеизвестным приспособлением. Первое обычно применяется для крупных машин, а второе — для средних и мелких. Следует иметь в виду, что у мощных машин напряжение на контактных кольцах является высоким (до 1500 V при пуске).

Короткозамкнутые двигатели малой мощности пускаются непосредственным включением на полное напряжение сети, причем более крупные из них — с переключением со звезды на треугольник (схема общеизвестна).

Крупные короткозамкнутые двигатели на время пуска включаются через автотрансформатор или по схеме Коридорфера так же, как синхронные машины с асинхронным пуском. Схемы даны на рис. 144 и рис. 145 (см. ниже, глава VII, § 11).

Одним из последних достижений в производстве асинхронных двигателей являются короткозамкнутые двигатели с несколькими ступенями скоростей. У этих машин выведены концы всех катушек статора, причем с помощью специального контроллера эти концы так могут соединяться, что образуют разное число пар полюсов (при разных положениях контроллера) и, следовательно, двигатель может иметь разные скорости. Эти двигатели строят обычно на 2 или 3 скорости.

Помимо того, применяются двигатели с фазным ротором, которые допускают регулировку скорости (от 75% до 100% номинальной) при помощи реостата, включенного в цепь ротора.

В конце книги приводятся табл. 15 и 16, содержащие основные показатели асинхронных двигателей.

§ 2. ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ.

Наиболее точные результаты испытания получаются, если возможно произвести опыты холостого хода, короткого замыкания и нагрузки; но последнее осуществить не всегда возможно, и тогда приходится удовольствоваться первыми двумя, получая из них все необходимые величины расчетным путем.

Основным является определение $\cos \phi$ и к. п. д. в зависимости от нагрузки, так как эти величины определяют экономичность машины в эксплуатации. $\cos \phi$ и к. п. д. не должны выходить из пределов, установленных ГОСТ-ом и приведенных в табл. 15. Помимо того, определяется вращающийся момент при работе и пуске (пусковой момент) и пусковой ток.

Программа подробных промышленных испытаний асинхронного двигателя.

(Программа нормальных промышленных испытаний состоит из пунктов, отмеченных звездочкой).

* I. Предварительные испытания — общие для всех (см. гл. IV).

II. Основные испытания.

1. Опыт холостого хода.

* Испытание повышенным напряжением.

* Проверка симметрии напряжения ротора (для фазных роторов).

Снятие характеристики холостого хода.

* Определение потерь холостого хода¹⁾.

Тепловое испытание.

2. Опыт короткого замыкания.

Снятие характеристики короткого замыкания.

* Определение потерь короткого замыкания²⁾.

Определение пускового тока.

¹⁾ При нормальных испытаниях только одна точка — при номинальном напряжении для сравнения с нормальной величиной этих потерь.

²⁾ При нормальных испытаниях — только одна точка при номинальном токе для сравнения с нормальной величиной этих потерь.

Определение пускового момента.

Тепловое испытание.

3. Опыт нагрузки.

Снятие кривых к. п. д., $\cos \varphi$, тока.

Определение перегрузочного момента.

Тепловое испытание.

* 4. Испытание диэлектрической прочности изоляции.

§ 3. СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ.

Схема для всех перечисленных испытаний асинхронного двигателя остается одна и та же, и сводится к измерению мощности, тока и напряжения в цепи трехфазного тока. Для разных опытов подбираются только приборы для нужных пределов измерения, причем при высоком напряжении или большом токе приборы включаются через измерительные трансформаторы. На рис. 112 дана типовая схема (с измерением мощности по схеме Арона) для испытания асинхронного двигателя. Рубильники, включенные параллельно с приборами, шунтируют их при пуске. Вместо этого может быть применен ваттметровый переключатель системы Сименса для измерения мощности по схеме Арона, но при наличии только одного ваттметра (рис. 19). Реостат в цепи ротора служит только для пуска, во время испытания ротор замыкается накоротко. Помимо цепи трехфазного тока, на рис. 112 дана нормальная схема для измерения сопротивления обмотки статора через рубильники 3, 4, необходимые в опыте нагрева¹⁾. Рубильники 3, 4 отключают измерительную схему от переменного тока при работе машины. Рубильник 1 отключает всю схему от сети переменного тока. Рубильник 2 отключает приборы переменного тока при измерении сопротивления машины, так как тонкие обмотки этих приборов включены параллельно к обмотке машины и могут исказить измерение. Помимо того, на рис. 112 изображено „скользило“ и его гальванометр (см. ниже).

§ 4. ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ.

Особенностью питания асинхронных машин при их испытании является необходимость иметь переменное напряжение при неизменной частоте. Для этого применяется потенциальный регулятор или отдельная синхронная машина. Синхронная машина удобна тем, что дает возможность поддерживать постоянную частоту, но требует регулировки и внимания. Потенциальный регулятор не поддерживает частоту — она всегда равна частоте сети, от которой он питается, но зато обращение с ним очень просто.

Потенциальный регулятор представляет собой асинхронную машину, у которой вместо шкива имеется червячное колесо, сопряженное с червячным валом, который приводится во вращение от руки.

Принцип действия заключается в следующем (см. рис. 113): в ротор поступает ток от сети; созданное им магнитное поле индуцирует электродвижущую силу в обмотке статора, включенной последовательно в питающую сеть. В одном положении ротора напряжение сети и индуцированная электродвижущая сила статора совпадают по

¹⁾ Схема пригодна только для низковольтных двигателей.

направлению, и тогда на выходных зажимах получается сумма напряжения сети и э. д. с. статора. При повороте ротора на одно полюсное деление, напряжение сети и индуцированная в статоре электродвижущая сила становятся противоположными по направлению, и тогда

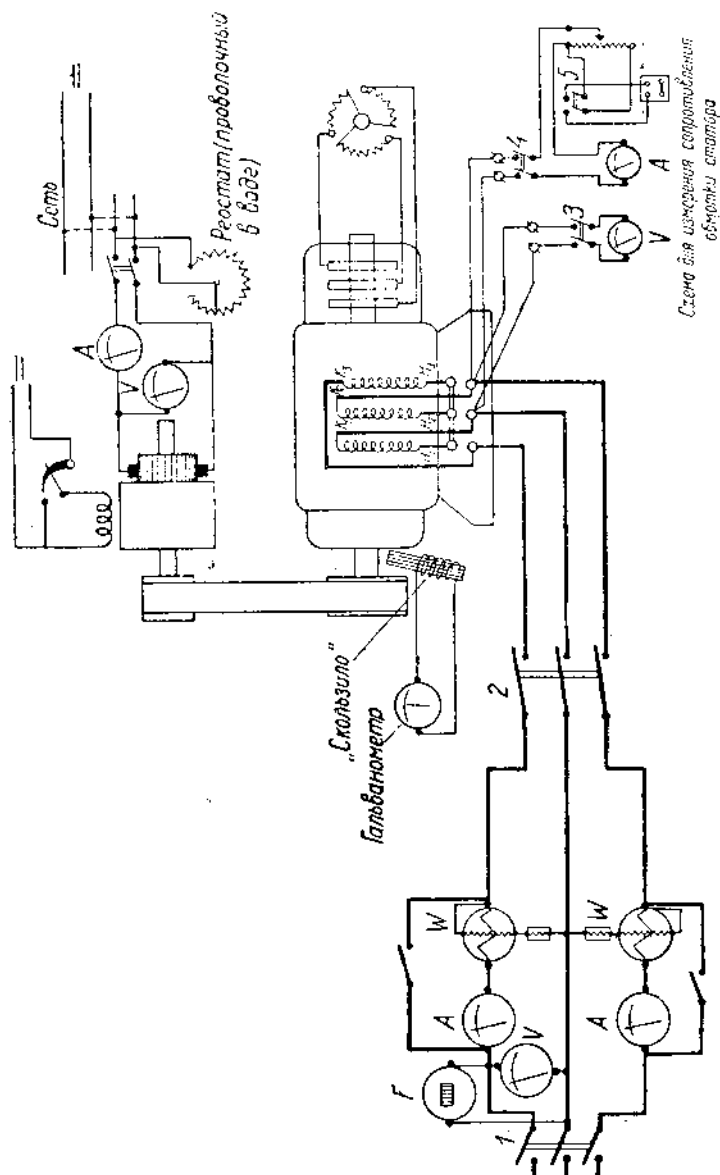


Рис. 112. Схема для испытания асинхронного двигателя.

напряжение на выходе равно их разности. При повороте же ротора в этом промежутке напряжение плавно меняется между указанными величинами. Если продолжать поворачивать ротор на протяжении второго полюсного деления, то напряжение снова будет плавно подни-

маться. Частота же, как было упомянуто, все время остается равной частоте питающей сети.

На статоре должна быть черта, а на роторе стрелка-указатель, которая приходится против этой черты, когда напряжение на выходных концах обмотки статора имеет наименьшее значение.

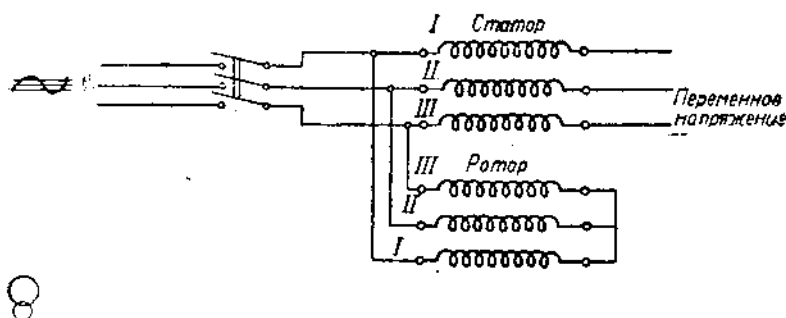


Рис. 113. Схема включения потенциального регулятора.

Для малых мощностей вместо червячной передачи может быть применено устройство, показанное на рис. 114. К валу машины прикрепляется рычаг, который ходит по стойке и может закрепляться на ней болтом, проходящим в вырезе стойки. Стойка прикрепляется к основанию, на котором стоит машина. Рычаг должен быть так закреплен на валу, чтобы ротор при стремлении вращаться поворачивал его концом книзу. Ротор поворачивают за рычаг и

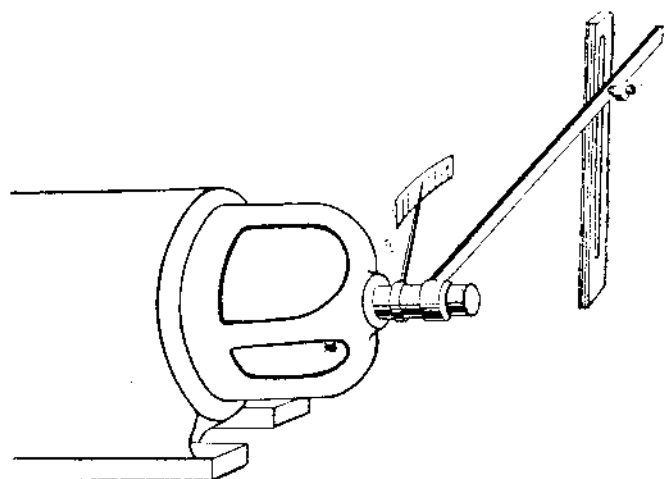


Рис. 114. Приспособление для использования асинхронного двигателя в качестве потенциального регулятора.

закрепляют в случае необходимости в нужном положении. Для того чтобы определить необходимую длину рычага, можно воспользоваться формулой (63), которая дает длину рычага, обеспечивающую легкий поворот ротора при максимальном возможном вращающем моменте ротора:

$$l = 1,73 \frac{E \cdot I}{n \cdot F}, \quad (63)$$

де: l — длина рычага в метрах (до места, за которое его держит рука),
 E — напряжение обмотки статора потенциал-регулятора (V),
 I — ток, который отдает потенциал-регулятор (A),
 n — синхронная скорость потенциал-регулятора (см. ниже) ($об/мин$),
 F — усилие в килограммах, с которым удерживают рычаг рукой (можно принимать 3–6 кг).

При использовании обычного асинхронного двигателя в качестве потенциал-регулятора надлежит иметь в виду, что номинальное напряжение ротора должно быть равно или близко к напряжению питающей сети.

Перед соединением статора и ротора потенциалы регулятора необходимо проверить порядок следования фаз. Для этого удобнее всего пользоваться небольшим асинхронным двигателем, обозначив его фазы: I, II, III . При отключенном от сети статоре потенциального регулятора включают ротор, сопряженный в звезду в сеть и параллельно к нему присоединяют контрольный электродвигатель; замечают направление вращения последнего и отмечают зажимы сети соответственно приключению контрольного двигателя I, II, III . Затем (отключив ротор), сопрягают выходные концы статора в звезду, приключают двигатель к входным концам так, чтобы он вращался в ту же сторону, что и в первый раз, и также отмечают входные концы обмоток статора. После этого разведияют звезду статора и присоединяют его входные концы к равнообозначенным зажимам сети.

§ 5. ОПЫТ ХОЛОСТОГО ХОДА.

В опыте холостого хода производится испытание повышенным напряжением, снятие характеристики холостого хода, проверка симметрии для выяснения исправности обмотки и тепловое испытание.

Испытание повышенным напряжением производится до снятия характеристики х. х. Общие правила этого испытания приведены на стр. 139 гл. V § 2. Относительно асинхронных машин в ОСТ 3888 сказано: „3. Испытание изоляции витков обмоток трехфазных асинхронных двигателей должно производиться при неподвижном и разомкнутом роторе. При короткозамкнутом роторе испытание производится при холостом ходе двигателя“.

Машину включают по схеме рис. 112. Ротор оставляют разомкнутым (у машин с фазным ротором), согласно приведенному выше правилу и поднимают напряжение до 130% номинального. Поддерживают его в течении пяти минут, снижают до номинального и производят проверку симметрии напряжений на роторе. Во время этого испытания необходимо следить за машиной и амперметрами. Если произойдет витковое, то амперметры в цепи статора будут давать сильно увеличенные показания и из машины пойдет дым. В этом случае необходимо немедленно отключить машину от сети.

Проверка симметрии напряжений ротора. При номинальном напряжении на статоре и разомкнутом роторе присоединяют вольтметр с помощью щупов к каждой паре колец ротора поочередно. Все три измерения должны дать равные напряжения. Допустимое отклонение $\pm 2\%$.

Характеристика холостого хода. Схема показана на рис. 112. Приборы подбираются: вольтметр на 130% номинального напряжения, амперметр на 50% номинального тока, ваттметр — на ток и напряже-

АСИНХРОННЫЙ ТРЕХФАЗНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ **ТИП АМО 14Б6-6, ЗАКАЗ № 00-0000. СТАТОР № 000000. РОТОР № 000000** **ЗАКАЗЧИК:**

250 kW 3000 V 65 A, 980 об/мин, 50 Гц, $\cos \varphi = 0,9$, Ротор 392 V, 436 A
 . . kW . . V . . A, . . об/мин, . . Гц, $\cos \varphi = 0$,

Исполнение открытое, защищенное, закрытое, герметическое,
 Направление вращения со стороны привода правое. Шкив - муфта, $\varnothing 400$ мм
 Ротор: фазный, имеет - не имеет приспособления для подъема шеток, - коротко-
 замыкатель, - с глубокими пазами, - с двойной бедильной клеткой. V
 Пуск: непосредственный, - переключением обмоток $\Delta - \Delta$, - реостат в роторе -
 статоре, через дроссельную катушку - автотрансформатор, - от напряжения V
 Вентиляция: проточная, замкнутая, поверхностная, без вентиляции,

1. Сопротивления обмоток, измеренные мостом Витстона

Статор при 18° C	U - V	0,680	Ротор при 18° C	U - V	0,0131
	V - W	0,679		V - W	0,0132
	W - U	0,681		W - U	0,0130
	Среднее	0,680		Среднее	0,0131
При 15° C		0,671	При 15° C		0,0129

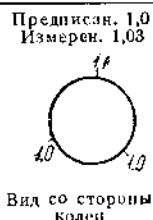
2. Проверка коэфф. трансформ.

Статор			Ротор	
Фазы	Напря- жение	Ток	Фазы	Напря- жение
U — V	3000		U — V	390%
V — W	3000		V — W	390%
W — U	3000		W — U	392%
			Среднее	391%

3. Характеристика холостого хода

Напряже- ние		Ток статора		Подведенная мощность		Потери в ста- торе	Потери хол. хо- да	Частота		
1° = -30 V	Вольт	1° = 0,5 A	Ам- пер	Цена дел.	Отсчет					
130,0	3900	79,6	79,5	39,8	1,5	58,3-45,3=13,0	19,5	1,62	17,88	50,0
110,0	3200	48,1	48,5	24,2	1,5	30,7-22,8=7,9	11,85	0,60	11,25	50,0
100,0	3000	40,1	40,0	20,1	1,0	35,3-25,5=9,8	9,80	0,41	9,39	50,0
66,7	2000	23,8	23,6	11,9	0,5	29,8-17,7=12,1	6,05	0,15	5,90	50,0
33,3	1000	12,0	12,0	6,0	0,25	17,4-3,9=13,5	3,37	0,4	3,33	50,0

5. Зазор в мм



4. Характеристика короткого замыкания

Напряжение			Ток статора		Подведенная мощность			Потери в ста- торе	Вращ. момент	Частота
$U_{\text{ср}} = 10 \text{ В}$	$U_{\text{ср}} = 10 \text{ В}$	Вольт	$I_{\text{ср}} = 1 \text{ А}$	Ам- пер	Цена дел.	Отсчет	Кило- ватт			
73,5	72,5	730	65,0	65,0	1,0	31,4—15,2=16,2	16,20	4,23	11,97	50,0
58,5	58,5	565	50,0	50,0	1,0	18,6—9,4=9,2	9,20	2,80	6,40	50,0
36,8	37,0	369	30,0	30,0	0,4	17,3—9,2=8,1	3,24	1,04	2,24	50,0

6. Сопротивление изоляции, измеренное напряж. 500 V по отношению к корпусу
 Статор 20 М2
 Ротор 5 М2

7. Нагрузка

Напряжение		Ток статора		Подведенная мощность		Частота	Скольжение		Ползун. мощ- ность	Коэф. полезн. действ.	соз р	Приме- чания
U° = -30 V	Вольт	I° = 1 A	Ам- пер	I° = 2,4 kW	Кило- ватт		колеб./сек.	%				
99,8	2994	31,2	31,2	38,4-3,2=51,6	124,0	50,0	5/50,0	0,20	112,4	90,7	0,766	
99,9	2967	35,9	35,9	44,9-18,6=63,5	152,5	50,0	10/71,4	0,28	110,2	92,0	0,815	
99,9	2967	50,0	50,0	62,6-32,8=95,4	229,0	50,0	10/39,2	0,51	214,1	93,5	0,861	
100,0	3000	65,0	65,0	81,1-45,0=126,1	303,0	50,0	10/26,6	0,75	234,5	93,9	0,897	
100,0	3000	74,3	74,3	92,9-52,1=145,0	348,0	50,0	20/44,4	0,90	376,9	93,9	0,900	
100,1	3103	83,2	83,2	104,0-59,2=163,2	392,0	50,0	20/33,8	1,03	368,0	93,9	0,904	

8. Испытание обмоток на пробивание

Статор 1000 V в течение 1 мин.
 Ротор 1800 V в течение 1 мин.

9. Испытан без муфты

Греется подшипник со стороны конт. колен (подкол. вращается смазочное кольцо).

Испытан 19 22 35 г. И. Наснов. Проверено 19 23 35 г. И. Петров. Выписан 19 25 35 г. VIII VIII VIII

С. Садоров.

Рис. 115. Пример протокола испытаний машины переменного тока.

ание сообразно первым двум приборам (не забыть при пуске закоротить приборы). Перед опытом холостого хода машине нужно дать поработать некоторое время (за исключением машин, имеющих шариковые подшипники), для того чтобы подшипники приобрели рабочую температуру. Снятие характеристики начинают с номинального напряжения, устанавливая точно номинальное напряжение и отсчитывают потребляемую мощность и ток. То же делают для точек 90%, 80%, 70%, 60% номинального напряжения. Запись ведется, как показано в бланке на рис. 115. Иногда кривую снимают начиная не с номинального напряжения, а повышенного на 10 — 20%.

Мощность, потребляемая двигателем при холостом ходе, идет на покрытие потерь х. х. (механических и в железе) и на потери в меди от тока х. х. Поэтому потери х. х. выделяются из потребляемой двигателем мощности по формуле:

$$P_0 = P_1 - 3I^2R \quad (63a)$$

при сопряжении фаз звездой,

$$P_0 = P_1 - I^2R$$

при сопряжении фаз треугольником,

где: P_0 — потери х. х. в ваттах,
 P_1 — потребляемая мощность в ваттах,
 I — линейный ток в амперах,
 R — сопротивление одной фазы в омах.

По записи определяют P_0 для каждой точки и затем строят кривые потерь P_0 и тока (см рис. 116) в зависимости от приложенного напряжения.

Как уже было сказано:

$$P_0 = P_{\text{желез}} + P_{\text{мех}} \quad (64)$$

где: $P_{\text{желез}}$ — потери в железе,
 $P_{\text{мех}}$ — механические потери.

Для того чтобы разделить потери на механические и в железе, нужно провести касательную к кривой потерь, проходящую через начало координат. Расстояние от точки касания до горизонтальной оси (в масштабе потерь) есть удвоенные механические потери, а половина этого расстояния, очевидно, механические. Разность между полными потерями х. х. и механическими есть потери в железе, что ясно из формулы (64). На рис. 116 показан способ разделения потерь х. х.

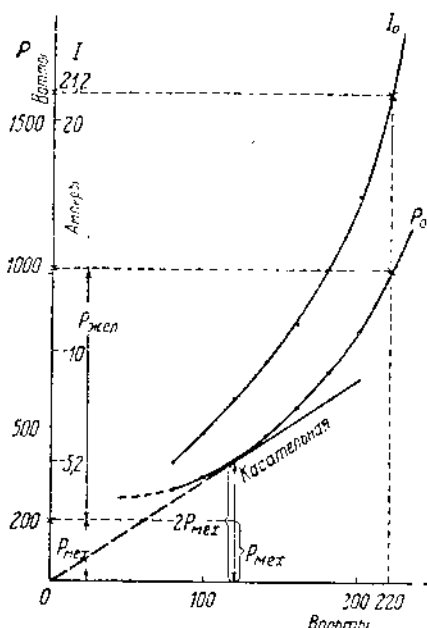


Рис. 116. Кривые холостого хода асинхронного двигателя.

Тип ... 220 В, 14,5 кВт
 $U_0 = 220$ В (номинальное напряжение)
 $I_0 = 21,2$ А (ток холостого хода)
 $P_0 = 1010$ В (потери холостого хода)
 $P_{\text{мех}} = 200$ В (механические потери)
 $P_{\text{желез}} = 810$ В (потери в железе)

При испытании малых машин необходимо учитывать потери в самих приборах, так как они соизмеримы с измеряемыми величинами. Учитывать эти потери следует так, как указано во II главе, § 12.

При этом:

$$P_1 = P - P_{\text{пр}}, \quad (65)$$

где: P — мощность, измеренная приборами,

$P_{\text{пр}}$ — потери в самих приборах,

P_1 — мощность, потребляемая двигателем.

При испытании двигателей массового производства снимается только одна точка холостого хода при номинальном напряжении и сравниваются ток и потери в этом режиме с нормальными величинами для подобной машины.

Проверка симметрии. Если имеется подозрение, что не все фазы статора нагружены равномерно, то производится проверка симметрии. Для крупных машин эта проверка обязательна. Наиболее простая проверка — измерение тока во всех фазах. В каждую фазу включается амперметр, и при наличии несимметрии амперметры показывают разное. Разница между большим и меньшим показанием допустима в 10% меньшего.

§ 6. ОПЫТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.

Основными задачами опыта короткого замыкания являются:

- 1) снятие характеристики короткого замыкания;
- 2) определение тока короткого замыкания (пускового тока);
- 3) определение пускового момента.

Опыт заключается в следующем: ротор закрепляют неподвижно и, если он фазный, то замыкают накоротко; к статору подводится напряжение такой величины, чтобы ток был не больше 150% номинального. Замеряют ток, напряжение и мощность, затем, снижая напряжение, повторяют запись, и так снимают несколько точек. Машина в этом опыте сильно нагревается, точки же должны быть сняты при неизменной температуре. Чтобы удовлетворить этим условиям, опыт начинают с наибольшего значения тока, и через каждые 2—3 точки, в зависимости от температуры, снимают напряжение, освобождают машину от тормоза и пускают вращаться вхолостую, пока температура упадет немного меньше средней температуры опыта; затем снова останавливают, затормаживают и продолжают опыт. Измерение сопротивления до и после опыта необязательно, важно лишь знать среднюю температуру за время опыта, причем отклонения температуры обмотки при снятии отдельных точек не должны отличаться от средней температуры больше, чем на 10%. Измерение температуры удобно производить термомпарами.

Опыт желательно вести в двух положениях ротора для каждой точки, когда ток статора при одном и том же подводимом напряжении наибольший и наименьший, и брать средние значения. Разница эта зависит от положения зубцов ротора относительно зубцов статора; передвигать нужно только на половину зубца, поэтому рекомендуется делать это помощью ломика, подкладывая его под тормозное приспособление.

Торможение для машин малой и средней мощности осуществляется тем, что в отверстие в шкиве, через которое проходит отвертка для завинчивания стопорного болта, вставляют железный стержень так, чтобы он был в горизонтальном положении, и между ним и фундаментом ставят подставку. Предварительно нужно проверить направление вращения, и подставку ставить так, чтобы стержень в нее упирался при стремлении машины вращаться. Машина должна быть надежно укреплена на фундаменте.

Схема для опыта короткого замыкания та же, что на рис. 112¹⁾. Приборы подбираются так, чтобы вольтметр мог измерять напряжение

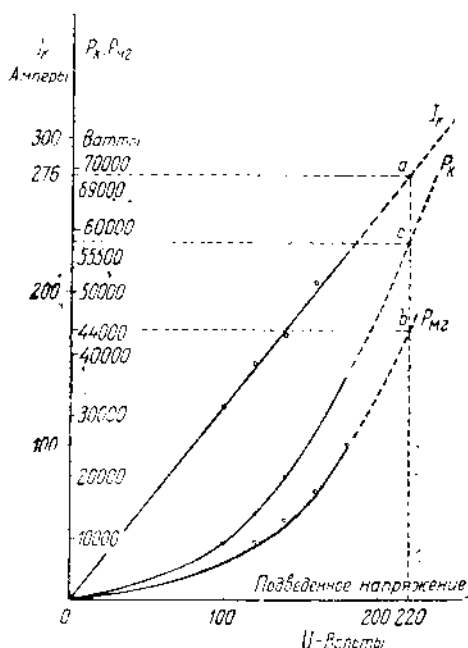


Рис. 117. Кривые короткого замыкания асинхронного двигателя.

Тип... 220 В, 50 А, 14,5 кВт

Опыт короткого замыкания

$$U_k = 220 \text{ В}$$

$$I_k = 276 \text{ А}$$

$$P_k = 69000 \text{ Вт}$$

$$P_{\Sigma 2} = 55500 \text{ Вт}$$

$$\frac{I_k}{I_n} = \frac{27,6}{5,1} = 5,4$$

$$F_{\text{хол}} = 0,193 \text{ } \Omega$$

при $t = 10,5^\circ \text{ C}$

от 10% до 50% номинального напряжения (желательно с переключением на меньший предел измерений, для того чтобы измерения были достаточно точны при малых напряжениях), а амперметр на 150% номинального тока; выбор ваттметра определяется выбором первых двух приборов. Работать удобно вдвоем; один меняет напряжение источника тока и делает отсчет по вольтметру, второй отсчитывает по остальным приборам. Порядок работ таков: поднимают напряжение так, чтобы ток достиг наибольшей величины, по команде делают отсчет по приборам, затем снижают ток до номинального, снова делают отсчет и т. д. Всего снимаются следующие точки: 130%, 100%, 75%, 50%, 25% номинального тока. Запись ведется как показано на рис. 115.

По записям строят кривые изменения тока (I_k) и мощности (P_k) в зависимости от напряжения (рис. 117).

P_k есть мощность, подведенная к машине и измеренная ваттметрами за вычетом потерь в приборах.

Определение пускового тока. Для эксплуатации двигателя важно знание пускового тока или отношения пускового тока к номинальному („кратность“ тока) ОСТ 3888 гласит:

... § 1. Пусковой ток короткозамкнутых трехфазных асинхронных двигателей не должен превосходить 8-кратного тока номинальной нагрузки, если значение его не установлено особым стандартом.

¹⁾ „Скользило“ в опыте короткого замыкания необходимо убрать, чтобы не подвергать соединенный с ним гальванометр опасности пережигания слишком большим током.

Двигатели считаются удовлетворяющими требованию в отношении пускового тока, если определяемый экспериментальным путем пусковой ток отличается не более, чем на 20% от величины, указанной в настоящем стандарте или оговоренной в технических условиях заказа".

В конце книги дана таблица кратности пусковых токов для различных двигателей (табл. 16). В начальный момент пуска двигатель неподвижен, поэтому в нем протекает ток такой величины, какой бы был в опыте короткого замыкания, если бы подняли напряжение до номинального (в короткозамкнутом двигателе).

Получить ток в опыте короткого замыкания при номинальном напряжении обычно мы не можем, потому что он слишком велик, и обмотка может пострадать; поэтому поступают следующим образом: полученную из опыта кривую тока короткого замыкания продолжают (как показано пунктиром на рис. 117) до пересечения с вертикальной прямой, соответствующей номинальному напряжению. Отрезок на вертикальной прямой между точкой пересечения и осью абсцисс определяет пусковой ток.

Помимо того, определение пускового тока можно произвести с помощью формулы:

$$I_n = I_k \frac{U_n}{U_k} \quad (66)$$

где: I_n — пусковой ток,

I_k — ток в опыте к. з. при напряжении U_k ,

U_n — номинальное напряжение.

Например: двигатель 441 кВт; 2000 В; 156 А; 1485 об/мин. Опыт к. з. дал $U_k = 436$ В, $I_k = 156$ А.

Согласно формуле (66):

$$I_n = 156 \frac{2000}{436} = 715 \text{ А.}$$

Для маленьких машин возможно производить опыт к. з. при номинальном напряжении. В этом случае пусковой ток (ток к. з. при номинальном напряжении) определяется непосредственно из опыта.

§ 7. СКОЛЬЖЕНИЕ.

Как известно, в асинхронных машинах причиной вращения является то, что магнитные полюса, образующиеся на внутренней поверхности статора, не неподвижны, а бегут по ней, образуя так называемое вращающееся поле. Это поле, пересекая обмотку ротора, индуцирует в ней ток, который создает магнитные полюса на роторе. Эти полюса, стремясь притянуться к полюсам статора, вращаются вместе с ними и тянут с собой ротор, но все же ротор отстает немного от поля статора, и это явление называется скольжением; например, асинхронный двигатель, имеющий две пары полюсов, имеет 1480 об/мин, в то время как его поле имеет 1500 об/мин.

Скорость вращения поля статора называется синхронной скоростью. Она определяется по формуле:

$$n_1 = \frac{f \cdot 60}{p} \quad (67)$$

где: n_1 — синхронная скорость (об/мин),
 f — частота сети (герц или периодов в секунду),
 p — число пар полюсов двигателя.

При частоте 50 герц существуют следующие синхронные скорости:

число пар полюсов p	синхронная скорость n_1
1	3000 об/мин
2	1500 "
3	1000 "
4	750 "
5	600 "
6	500 "
7	428,6 "
8	375 "
9	333,3 "
10	300 "
	и т. д.

Ротор двигателя, благодаря скольжению, имеет всегда скорость немного меньшую синхронной, например: 2940, 1450, 980, 730 и т. д.

Скольжением называется разность между синхронной скоростью и скоростью ротора. Она измеряется в % от синхронной скорости по формуле:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} 100\% \quad (68)$$

где: s — скольжение в %,
 n_1 — синхронная скорость,
 n — скорость ротора.

Например, двигатель, скорость которого 1440 об/мин, имеет скольжение:

$$s = \frac{1500 - 1440}{1500} 100 = 4\%$$

Скольжение неизбежно, так как если бы его не было, то поле статора не пересекало бы обмотку ротора, и в ней не индуцировался бы ток.

Индуктированный в обмотке ротора ток имеет небольшую частоту (при номинальной нагрузке обычно не выше 5 периодов в секунду). Частота эта меняется с изменением нагрузки. При увеличении нагрузки увеличивается скольжение и частота тока в роторе.

Определить скольжение можно по скорости вращения ротора с помощью формулы (68), но способ этот очень неточный, потому что само измерение скорости неточно, и ошибка на 2—3 оборота в минуту является очень большой, так как число оборотов скольжения составляет всего несколько процентов от измеряемого числа оборотов в минуту. Более точным является измерение частоты сети и ротора. Если известны: частота сети f_1 и частота тока в роторе f_2 , то скольжение S считается в процентах по формуле:

$$S = \frac{f_2}{f_1} 100\% \quad (69)$$

Частота сети измеряется частотомером, приключенным к питающей сети. Частота же ротора измеряется следующим способом: магнитное

поле ротора, распространяясь по валу, выходит за пределы подшипниковых щитов (это поле называется полем рассеяния). Здесь оно очень слабое, но достаточное для измерения чувствительным прибором. В этом поле помещают „скользило“, приложив его концом к подшипнику, обмотку „скользила“ присоединяют к гальванометру постоянного тока, имеющему нуль посередине шкалы. „Скользило“ (рис. 112) представляет собой железный стержень прямоугольного сечения, набранный из полос листового динамного железа. На этом сердечнике имеется катушка в 2000—3000 витков проволоки диаметром 0,3—0,5 мм. Концы обмотки присоединяются к гальванометру. Поле ротора индуцирует в обмотке „скользила“ э. д. с. такой же частоты, как и в роторе. Стрелка гальванометра, под влиянием этого тока, совершает колебание в обе стороны от нуля.

Иногда стрелка гальванометра мелко дрожит, совершая описанные колебания. Это дрожание есть результат влияния поля рассеяния статора, частота которого 50 герц. Для того чтобы не портить гальванометр, нужно найти такое место для „скользила“, где поле рассеяния статора отсутствует или слабо.

Каждому полному колебанию от одного положения стрелки до повторного такого же положения соответствует один период тока в роторе. При отсчете необходим секундомер, по которому отсчитывается время. Например, стрелка сделала 20 полных колебаний за 5 секунд, следовательно, частота ротора: $20:5 = 4$ периода в секунду. В таблице записей (см. рис. 115) в графу „скольжение“ записывается: $20:5$. Для того чтобы сделать одну запись, нужно произвести несколько отсчетов и взять среднюю величину. Измерение скольжения следует делать очень тщательно.

Измерение следует вести так: приготовить секундомер, нажать его пусковую кнопку и одновременно сделать отсчет 0, раз, два, три, четыре... 19, 20, с последним отсчетом нажать тормозную кнопку секундомера. Во время отсчета удобно раскачивать секундомер в такт с отклонениями стрелки гальванометра. На секундомер смотреть не нужно, не заботясь о том, чтобы было целое число секунд.

Если частота сети составляет 50 герц, то вычисление скольжения в процентах удобно ведется по следующей формуле (вместо 69):

$$S = \frac{2k}{t} \% \quad (70)$$

где k — число периодов тока в роторе за время t в секундах.

Например: отсчитано 20 колебаний стрелки гальванометра (20 периодов) за 9,8 секунды:

$$S = \frac{2,20}{9,8} = 4,08\% \text{ или } 0,0408;$$

так как четвертый знак не повлияет на точность вычислений, можно принять скольжение равным 0,04.

В двигателях с фазным ротором, если его кольца не замкнуты короткозамыкающим приспособлением, можно в одну фазу ротора включить магнитоэлектрический амперметр с двухсторонней шкалой и считать частоту по отклонениям его стрелки, по формулам, приведенным для „скользила“.

Второй способ измерения частоты ротора и скольжения состоит в следующем: на валу двигателя укрепляется белый диск с таким числом черных секторов, сколько машина имеет полюсов. Диск освещается неоновой лампой, подключенной к сети (от которой питается машина) непосредственно или через трансформатор (напряжение лампы 110—220 В), как изображено на рис. 118. Вращающийся диск, освещенный этой лампой, кажется медленно вращающимся в обратную сторону. Подсчитывается число секторов, прошедших через какую-

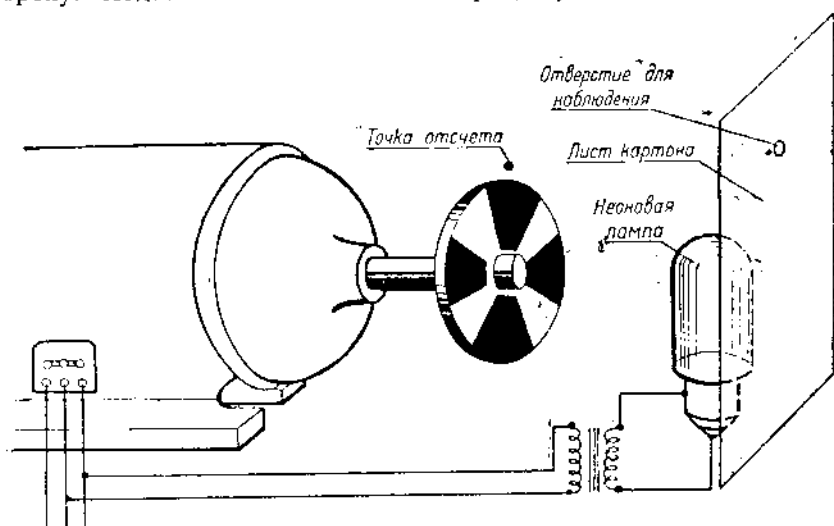


Рис. 118. Стробоскопический метод измерения скорости вращения.

Синхронная скорость двигателя при частоте сети 50 герц	Необходимое число секторов на диске
3000 об/мин	2
1500 "	4
1000 "	6
750 "	8
600 "	10
500 "	12
428 "	14
375 "	16
333 "	18
300 "	20

либо неподвижную точку над окружностью диска за время, измеренное по секундомеру. Если это число k , время t секунд, то частота тока в роторе f_2 подсчитывается по формуле:

$$f_2 = \frac{k}{2t}, \quad (71)$$

после чего легко находится скольжение, согласно формуле (69).

Если неоновая лампа питается от сети (напряжение которой имеет правильную синусоидальную форму), то сектора на движущемся диске видны не четко — изображение мутное. Для того чтобы получить четкое изображение, можно применить схему рис. 119. Последовательно со вторичной обмоткой измерительного трансформатора тока соеди-

няется реостат, который подбирается так, чтобы по этой цепи при включении ее на сеть переменного тока протекал бы ток около 10 А. При этом обмотка трансформатора оказывается перегруженной, но этого не нужно бояться — с трансформатором ничего не случится. Первичная обмотка трансформатора остается разомкнутой. Неоновая лампа присоединяется параллельно ко вторичной обмотке трансформатора.

§ 8. СПОСОБЫ НАГРУЗКИ.

Методов нагрузки асинхронных машин существует несколько. Для малых и, частично, средних машин применяется обычная схема нагрузки (см. рис. 112). Крупные машины по этой схеме обычно нагружать затруднительно, так как мощность сети переменного тока может быть недостаточной, чтобы отдать требуемую большую мощность. В том случае, если есть два двухмашинных агрегата или машины, которые можно спарить, применяют схему рис. 120. Асинхронный двигатель A_1 вращает генератор постоянного тока Π_1 , который питает двигатель постоянного тока Π_2 , последний вращает асинхронный двигатель A_2 , работающий в режиме генератора и отдающий переменный

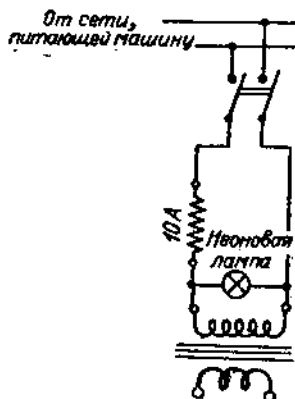


Рис. 119. Схема включения неоновой лампы для получения четкого изображения.

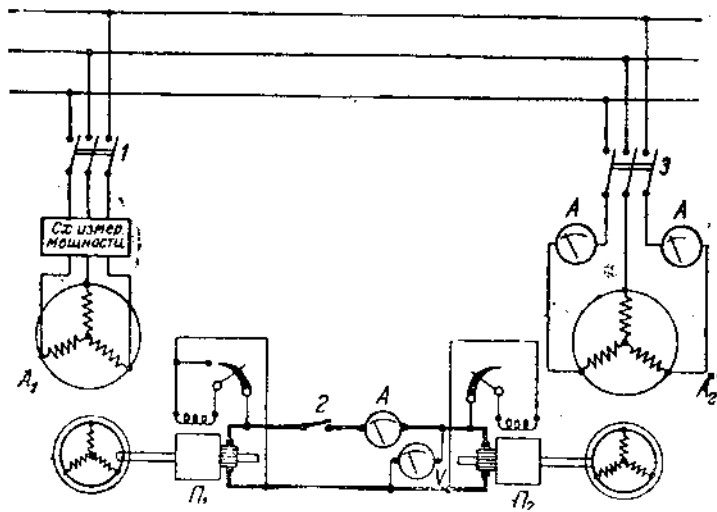


Рис. 120. Схема взаимной нагрузки асинхронных двигателей.

ток в сеть. Асинхронный двигатель будет работать генератором только в том случае, если скорость вращения его немного выше синхронной и если сеть питается переменным током от какой-либо синхронной машины. Асинхронный генератор A_2 (рис. 120) возвращает в сеть

энергию, потребленную двигателем A_1 за вычетом потерь во всех машинах; сеть таким образом покрывает только потери в машинах.

Пуск осуществляется так: при разомкнутом рубильнике 2 пускают от сети переменного тока оба агрегата при введенных шунтовых реостатах машин постоянного тока; включают рубильник 2. Затем регулируют шунтовые реостаты так, чтобы постоянный ток шел от P_1 к P_2 . При этом P_1 работает генератором, а P_2 двигателем. Шунтовой реостат машины P_2 ставят в такое положение, чтобы скорость агрегата II стала немного больше синхронной. При этом A_2 переходит в генераторный режим и начинает отдавать энергию в сеть. О нагрузке судят по ваттметрам схемы измерения мощности. Регулировка нагрузки производится шунтовыми реостатами.

По амперметру в цепи постоянного тока следят за тем, чтобы ток не превосходил номинальное значение. По вольтметру следят, чтобы напряжение не превосходило номинальное напряжение той машины, у которой оно меньше.

Произведением этих величин (тока и напряжения) определяется наибольшая нагрузка. Удобнее всего иметь одинаковые агрегаты. Двигатель A_2 должен быть выполнен на такое же напряжение, какое имеет сеть. Амперметры в его цепи стоят для контроля.

§ 9. ОПЫТ НАГРУЗКИ.

Основной целью опыта нагрузки является определение изменения $\cos \varphi$ и к. п. д. в зависимости от нагрузки, а также определение максимального вращающего момента машины. Знание пределов изменения этих величин для эксплуатации важно с точки зрения экономичности машины. Помимо того, опыт нагрузки дает возможность определить ту наибольшую мощность, при которой к. п. д. и $\cos \varphi$ данной машины еще укладываются в норму, и температуры не превосходят допустимых значений.

Опыт нагрузки заключается в следующем: машину нагружают и, поддерживая номинальное напряжение и частоту, меняют нагрузку от 150%—200% до холостого хода. Желательны точки в 200%—150%—120%—100%—80%—60%—40%—20%—10%—0%. Для каждой точки измеряется потребляемая мощность, ток, скольжение и напряжение, так как последнее все же колеблется в небольших пределах. Для контроля частоты в схеме должен быть частотомер. Запись ведется как показано в бланке на рис. 115.

По данным опыта и расчетным путем получают и строят кривые изменения, в зависимости от полезной мощности P_2 : $\cos \varphi$, P_1 , к. п. д., тока, скольжения. Эти кривые — рабочие характеристики даны на рис. 121. Для каждой кривой с левой стороны показан масштаб. Как видим, с увеличением нагрузки скольжение (кривая s) увеличивается, но не очень сильно, составляя при номинальной нагрузке около 3,5% синхронного числа оборотов (1500 об/мин). Ток (I_1) и подводимая мощность (P_1) также с увеличением нагрузки растут. Коэффициент же мощности ($\cos \varphi$) и к. п. д. (η) первоначально растут, а при дальнейшем увеличении мощности начинают падать. Эти обе величины, как говорилось выше, характеризуют машину в эксплуатации, и должны быть возможно большими. Казалось бы, что на рис. 121 выгоднее линию

номинальной мощности перенести дальше, т. е. номинальная мощность машины могла бы быть больше. Но при этом резко увеличивается ток и обмотка будет нагреваться. Поэтому номинальную мощность определяют по тому наибольшему току, который вызывает нагрев обмотки не выше установленных норм. При этом $\cos \phi$ и к. п. д. также не должны быть меньше установленных нормами (хотя бы они и не являлись еще наибольшими для данной машины). Максимальный же допустимый ток определяется из опыта нагрева.

Определение и построение рабочих характеристик. На рис. 121 все кривые построены в зависимости от полезной мощности. Полезная мощность определяется для каждой точки с помощью формулы:

$$P_2 = P_1 - \Sigma P, \quad (72)$$

где: P_2 — полезная мощность в ваттах,

P_1 — подведенная мощность в ваттах (измеренная),

ΣP — сумма потерь в ваттах.

Потери в асинхронной машине определяются следующим путем:

1. Потери в меди статора ($P_{м1}$):

$$\begin{aligned} P_{м1} &= 3 I^2 R \text{ при соединении машины } \Delta, \\ P_{м1} &= I^2 R \text{ " " " " } \triangle, \end{aligned} \quad (73)$$

где: $P_{м1}$ — потери в меди статора в ваттах,

I — линейный ток в амперах,

R — сопротивление фазы статора при 75°C в омах.

Так как сопротивление машины измеряется обычно в холодном состоянии, то к температуре в горячем состоянии оно приводится по формуле:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)], \quad (74)$$

где: R_2 — сопротивление обмотки в горячем состоянии при температуре t_2 ,

R_1 — сопротивление обмотки в холодном состоянии при температуре t_1 ,

α — температурный коэффициент для меди равен 0,004.

2. Потери в железе и потери на трение (механические). $P_{ж}$ и $P_{мех}$ определяются из опыта холостого хода для напряжения, равного приложенному напряжению в опыте нагрузки (см. § 5). Эти потери в опыте нагрузки постоянны.

3. Потери в роторе $P_{м2}$ определяются по формуле:

$$P_{м2} = \frac{s}{100} P_{эл. м} = \frac{s}{100} (P_1 - P_{м1} - P_{ж}), \quad (75)$$

где: s — скольжение в процентах,

P_1 — подведенная к машине мощность в ваттах,

$P_{м1}$ — потери в меди статора в ваттах,

$P_{ж}$ — потери в железе статора в ваттах,

$P_{эл. м}$ — так называемая электромагнитная мощность (в ваттах).

В объяснение формулы нужно сказать, что мощность, подведенная к машине за вычетом потерь в статоре превращается в мощность,

передаваемую ротору вращающимся магнитным полем, которая называется электромагнитной мощностью ($P_{эл. м.}$):

$$P_{эл. м.} = P_1 - P_{м1} - P_{ж.} \quad (76)$$

Электромагнитная мощность машины за вычетом потерь в меди ротора, которые определяются по формуле (75), превращается в механическую мощность машины.

Часть механической мощности выделяется в виде потерь на трение и добавочных потерь, оставшаяся же — есть полезная мощность машины (P_2).

4. Добавочные потери $P_{доб}$ в асинхронной машине принимаются равными $1/2\%$ от подведенной к машине мощности:

$$P_{доб} = 0,005 P_1. \quad (77)$$

5. Сумма потерь ΣP определяется по формуле:

$$\Sigma P = P_{м1} + P_{ж.} + P_{м2} + P_{мех} + P_{доб}. \quad (78)$$

6. Формула (72) полезной мощности принимает вид:

$$P_2 = P_1 - (P_{м1} + P_{ж.} + P_{м2} + P_{мех} + P_{доб}), \quad (79)$$

а после преобразования:

$$P_2 = (P_1 - P_{ж.} - P_{м1}) \left(1 - \frac{s}{100} \right) - (P_{мех} + P_{доб}). \quad (80)$$

Если разделение потерь холостого хода P_0 на потери в железе и на трение не произведено, то с достаточной точностью можно вместо формулы (80) пользоваться формулой:

$$P_2 = (P_1 - P_{м1} - P_0) \left(1 - \frac{s}{100} \right) - P_{доб}. \quad (81)$$

7. К. п. д. определяется по формуле:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}. \quad (82)$$

Запись опыта нагрузки удобно вести в протоколе, приведенном выше (рис. 115), или как показано в таблице на стр. 197. В ней за-

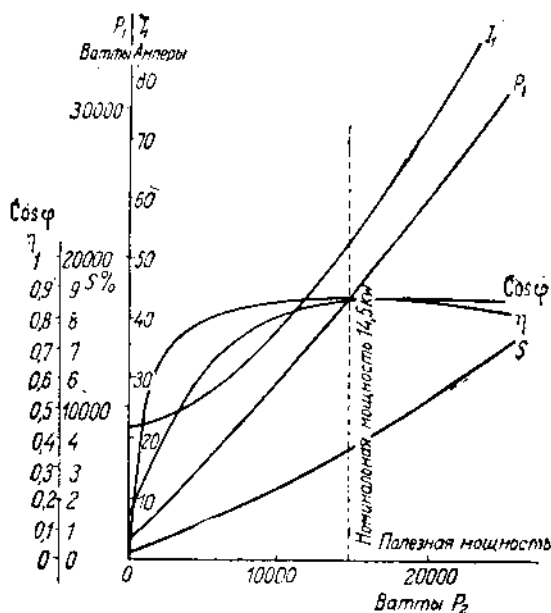


Рис. 121. Кривые нагрузки асинхронного двигателя.

Нагрузка при $U = 220$ вольт.

Двигатель И 20/2, 3000 об/мин, 1 kW; 220/380 V, ф. № 152-2.

I	I_2	I_3	$I_{ср}$	$W_1 + W_2$	W	$P_{н\Gamma}$	P_1	S	P_{Σ_1}	P_{Σ_2}	P_{Σ_3}	P_{Σ_4}	P_{Σ_5}	P_{Σ_6}	ΣP	P_2	η	$\cos \varphi$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$1^\circ=0,05$	$1^\circ=0,05$	$1^\circ=0,05$	ампер	$1^\circ=10$	ватт	ватт	ватт	%	ватт	ватт	ватт	ватт	ватт	ватт	ватт	ватт			
89,2	95,6	98	4,72	$103,2+57,8=161$	1610	10	1600	$20/7,6$	$5,26/120$	100	1380	73	30	8	331	1269	79,3	0,89	
85	92,1	94,2	4,52	$98,2+54,9=153,1$	1531	10	1521	$20/8,3$	$4,82/110$	100	1311	63	30	8	311	1210	79,4	0,88	
78,2	85	87,5	4,18	$91,5+50=141,5$	1416	10	1405	$20/9$	$4,44/94$	100	1211	54	30	7	285	1120	79,7	0,88	
75,2	81,8	84	4,02	$86,2+47=133,2$	1332	10	1322	$20/9,5$	$4,21/87$	100	1135	48	30	6	271	1051	79,5	0,86	
71,8	78,5	79	3,82	$84,5+43,5=128$	1280	10	1270	$20/9,8$	$4,08/78$	100	1092	45	30	6	259	1011	79,6	0,87	
67,8	72	74,8	3,58	$78,5 \times 40,5=119$	1190	10	1180	$10/5,4$	$3,72/69$	100	1011	37	30	5	241	939	79,6	0,86	
62	67,5	70	3,32	$74+35,5=109,5$	1095	10	1085	$10/5,9$	$3,39/59$	100	826	28	30	5	222	863	79,5	0,85	
56,1	61,1	63,2	3,05	$65,6+31=96,6$	966	10	956	$10/7$	$2,86/49$	100	807	26	30	5	207	749	78,4	0,8	

$R_{15}=4,33 \Omega;$
 $R_{78}=5,37 \Omega.$

$R_{15} = 4,33 \Omega$;
 $R_{16} = 5,37 \Omega$.

писаны данные опыта и вычислений, по которым в дальнейшем строятся рабочие характеристики, подобные приведенным на рис. 121.

В графах 1, 2, 3 записаны показания амперметров в трех фазах, в графе 4 записано среднее значение тока в амперах. В графе 5 записаны показания ваттметров (включенных по схеме Арона), а в графе 6 — вычисленная по ним мощность. В графе 7 записаны потери в приборах. Так как измеряемые потери для данного случая имеют место в тонких обмотках приборов, а напряжение во время опыта неизменно, то и потери в приборах тоже неизменны в течение всего опыта. В графе 8 записана подведенная к машине мощность P_1 , определенная по показаниям ваттметров. В графе 9 записаны значения скольжения при измерении (см. стр. 301), а в графе 10 — скольжение, вычисленное в процентах. В графе 11 записаны потери в меди статора $P_{м1}$, вычисленные по формуле (70). В графе 12 записаны потери в железе, соответствующие напряжению, при котором производился опыт и взятые из опыта холостого хода. Эти потери постоянны в течение всего опыта, так как они зависят только от напряжения, а напряжение в течение опыта неизменно. В графе 13 записана электромагнитная энергия $P_{эл. м}$, вычисленная по формуле (75). В графе 15 записаны потери на трение $P_{мех}$, определенные в опыте х. х. Эти потери постоянны в течение всего опыта. В графе 16 записаны добавочные потери $P_{доб}$, вычисленные по формуле (77). В графе 17 записана сумма потерь $\sum P$, вычисленная по формуле (78). В графе 18 записана полезная мощность P_2 , вычисленная по формуле (80). В графе 19 записан к. п. д., вычисленный по формуле (82). В графе 20 записан $\cos \varphi$, вычисленный по формуле (7).

Все мощности в таблице выражены в ваттах, причем десятые доли не записаны, а округлены до ближайшей большей или меньшей единицы.

Произведем все расчеты для одной точки нагрузки, например, ближайшей к номинальной. Это будет точка $P_2 = 1011 \text{ W}$ (пятый ряд сверху).

1. Среднее значение тока будет:

$$\frac{71,8 + 78,5 + 79}{3} = 76,4; \text{ так как } 1^\circ = 0,05, \text{ то}$$

$$I_{ср} = 76,4 \times 0,05 = 3,82 \text{ ампера.}$$

2. Сумма показаний ваттметров 128, так как $1^\circ = 10$, то мощность, измеренная ваттметрами:

$$P = 128 \times 10 = 1280 \text{ ватт.}$$

3. Так как потери в приборах $P_{пр} = 10$, то

$$P_1 = 1280 - 10 = 1270 \text{ ватт.}$$

4. Скольжение записано: $\frac{20}{9,8}$, т. е. 20 периодов за 9,8 секунды.

Для того чтобы пересчитать эту частоту в процентах от частоты сети, можно воспользоваться формулой (70):

$$s = \frac{2 \cdot 20}{9,8} = 4,08\% \text{ или } 0,0408.$$

5. Потери в меди статора $P_{м1}$ определяем по формуле (73). Причем: на заголовке протокола указано 220/380 V, т. е. при напряжении 220 V машина соединяется в треугольник, следовательно:

$$P_{м1} = I^2 R = 3,82^2 \times 5,37 = 78 \text{ ватт.}$$

Сопротивление $R = 5,37 \text{ }\Omega$ указано внизу протокола, оно подсчитывается с помощью формулы (74) по сопротивлению при 15° ($4,33 \text{ }\Omega$), указанному внизу протокола:

$$R_{15} = 4,33[1 + 0,004(75 - 15)] = 4,33(1 + 0,24) = 5,37 \text{ }\Omega.$$

6. Потери в железе $P_{ж}$ определены в опыте холостого хода и равны $P_{ж} = 100$ ватт.

7. Электромагнитную энергию определяем по формуле (76):

$$P_{эл. м} = P_1 - (P_{м1} + P_{ж}) = 1270 - (78 + 100) = 1092 \text{ ватт.}$$

8. Потери в роторе $P_{м2}$ определяем по формуле (75):

$$P_{м2} = 1092 \times 0,0408 = 44,6, \text{ округленно } 45 \text{ ватт.}$$

9. Потери на трение определены из опыта холостого хода:

$$P_{мех} = 30 \text{ ватт.}$$

10. Добавочные потери определяются по формуле (77):

$$P_{доб} = 1270 \times 0,005 = 6,35 \text{ ватт, округленно } 6 \text{ ватт.}$$

11. Сумма потерь по формуле (78):

$$\Sigma P = 78 + 100 + 45 + 30 + 6 = 259 \text{ ватт.}$$

12. Полезная мощность по формуле (79):

$$1270 - 259 = 1011 \text{ ватт.}$$

13. К. п. д. по формуле (82):

$$\eta = \frac{1011}{1270} = 79,6\%.$$

14. $\cos \varphi$ определяем по формуле (7):

$$\frac{P_1}{UI \cdot 1,73} = \frac{1270}{220 \cdot 3,82 \cdot 1,73} = 0,874, \\ \text{округленно } \cos \varphi = 0,87.$$

Рекомендуем просчитать остальные точки.

Определение вращающих моментов. Различают три вращающих момента: 1) пусковой¹⁾, 2) номинальный, 3) перегрузочный. „Электро-технические правила и нормы“ (ОСТ 3888) определяют:

.... Раздел Б. Перегрузка машин.

§ 2. Все двигатели при номинальном напряжении на зажимах, а двигатели переменного тока, кроме того, при нормальной частоте, должны развить перегрузочный момент не менее 1,6 номинального момента для машин с продолжительной нагрузкой и не менее двойного номинального момента для ма-

¹⁾ Пусковой момент определяется только для короткозамкнутых двигателей, так как у двигателей с фазным ротором он зависит от сопротивления в цепи ротора.

шин с повторно-кратковременной нагрузкой, если значение перегрузочного момента не установлено особым стандартом. Длительность испытания двигателя на перегрузочный момент ограничивается двумя минутами.

Двигатели считаются удовлетворяющими требованию в отношении перегрузочного момента, если определяемый экспериментальным путем перегрузочный момент отличается не более, чем на 10% от величины, указанной в настоящем пункте или оговоренной в технических условиях заказа.

... Раздел В. Пусковые условия.

§ 2. Начальный пусковой момент трехфазных асинхронных двигателей с нормальным короткозамкнутым ротором не должен быть, при любом положении ротора в начальный момент пуска и во время ускорения, менее 0,6 номинального вращающего момента, если значение пускового момента не установлено особым стандартом.

§ 3. Двигатели переменного тока, при номинальном напряжении на зажимах и номинальной частоте, с соответствующим пусковым реостатом в цепи ротора, должны развивать вращающий момент не менее 30% номинального момента при любом положении ротора в начальный момент пуска и во все время ускорения до номинальной скорости.

Двигатели считаются удовлетворяющими требованиям в отношении начального пускового момента, если определяемый экспериментальным путем начальный пусковой момент отличается не более, чем на 10% от величины, указанных в настоящем пункте или оговоренных в технических условиях заказа.

Вращающий момент, как известно, измеряется в килограммометрах. Часто его выражают в так называемых синхронных ваттах, т. е. мощностью, соответствующей заданному моменту при синхронной скорости вращения. В синхронных ваттах принято выражать пусковой момент. Для этой цели служит формула

$$\begin{aligned} M_{\text{синхр.}} \text{ ватт} &= P_1 - 3 I^2 R \text{ при соединении } \Lambda, \\ M_{\text{синхр.}} \text{ ватт} &= P_1 - I^2 R \text{ при соединении } \Delta, \end{aligned} \quad (83)$$

где: $M_{\text{синхр.}}$ ватт — момент в синхронных ваттах,

P_1 — мощность в ваттах, потребляемая машиной в опыте к. з. при номинальном напряжении,

I — ток в фазе в амперах,

R — сопротивление фазы в омах.

Пусковой момент, выраженный в кгм, определяется по формуле:

$$M_n = 0,975 \frac{P_1 - 3 I^2 R}{n_c}, \quad (84)$$

где n_c — синхронная скорость.

Выражение

$$P_1 - 3 I^2 R = P_{\text{эл. м}}$$

называется электромагнитной мощностью короткого замыкания машины. Объяснение этому термину дано выше.

Номинальный момент и перегрузочный момент определяется по формуле:

$$M = P_{\text{эл. м}} - P_{\text{мех}} - P_{\text{доб}}, \quad (85)$$

или приблизительно

$$M \approx P_{\text{эл. м}}, \quad (85a)$$

где: M — момент в синхронных ваттах,
 $P_{\text{эл. м}}$ — электромагнитная мощность той нагрузки, для которой определяется момент [определяется по формуле (76)],
 или же:

$$M = 0,975 \frac{P_2}{n} \text{ кгм}, \quad (86)$$

где: M — момент в кгм,
 P_2 — полезная мощность двигателя в ваттах, определенная по формуле,
 n — скорость ротора при той нагрузке, для которой определяется момент (об/мин).

Нужно сказать, что момент, определенный по формуле (85а), несколько больше момента, определенного по формуле (86), так как в первом случае определяется момент ротора, а во втором — момент на валу, который меньше, так как в машине есть механические и добавочные потери.

Отношение пускового момента к номинальному, так называемая кратность моментов, не должно быть меньше величин, установленных стандартом. Кратность моментов определяется по значениям пускового и номинального моментов или по формуле:

$$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{P_{\text{эл. м. к. з.}}}{P_{\text{эл. м. ном.}}} \quad (87)$$

Для больших машин опыт к. з. при номинальном напряжении не может быть произведен, так как при этом возникает большой ток. Следовательно, пусковой момент из опыта в этом случае не может быть определен. Определить его с достаточной степенью точности можно с помощью формулы:

$$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{к. з.}}} = \frac{U_{\text{н}}^2}{U_{\text{к. з.}}^2} \text{ и } M_{\text{п}} = M_{\text{к. з.}} \frac{U_{\text{н}}^2}{U_{\text{к. з.}}^2}, \quad (88)$$

где: $M_{\text{п}}$ — пусковой момент при номинальном напряжении $U_{\text{н}}$,
 $M_{\text{к. з.}}$ — пусковой момент в опыте к. з. при напряжении $U_{\text{к. з.}}$.

Произведем проверку на численном примере:

Имеется двигатель 441 kW; 2000 V; 156 A; 1485 об/мин; соединения Δ ; $R_{\text{ф}} = 0,073 \Omega$;

Опыт к. з. дал: $U_{\text{к. з.}} = 436 \text{ V}$; $I = 156 \text{ A}$; $P_1 = 41,2 \text{ kW}$.

Потери в меди по формуле (73):

$$P_{\text{м1}} = 3 \times 156^2 \cdot 0,073 = 5300 \text{ W}.$$

Электромагнитная энергия $P_{\text{эл. м. к. з.}}$ определяется по формуле (76).

$$P_{\text{эл. м. к. з.}} = 41200 - 5300 = 35900 \text{ W},$$

т. е.

$$M_{\text{синхр. вт.}} = 35900 \text{ W},$$

или согласно формуле (84)

$$M = 0,975 \frac{35900}{1500} = 23,3 \text{ кгм}.$$

Пусковой момент при номинальном напряжении 2000 V определяется по формуле (88):

$$M_n = 35\,900 \frac{2000^2}{436^2} = 755\,000 \text{ W},$$

или

$$M_n = 23,3 \frac{2000^2}{436^2} = 490,0 \text{ кгм}.$$

Номинальный момент определим по данным паспорта машины по формуле (86):

$$M_{\text{ном}} = 0,975 \frac{441000}{1485} = 290 \text{ кгм}.$$

По полученным значениям легко находится кратность пускового момента:

$$\frac{M_n}{M_{\text{ном}}} = \frac{490}{290} = 1,69.$$

Перегрузочный момент, т. е. наибольший момент развиваемый двигателем при перегрузке, определяется или из опыта нагрузки (для малых двигателей) или построением так называемой круговой диаграммы¹⁾.

§ 10. ТЕПЛОВОЕ ИСПЫТАНИЕ.

Опыт нагрева асинхронных машин ведется с той же целью, что и других машин. Машину заставляют работать при номинальном напряжении и токе в течение нескольких часов до тех пор, пока температура машины не установится. Установившаяся температура частей машины не должна превышать температур, указанных в приложении 1. Температура измеряется по термонарам через каждые полчаса, а в начале и конце опыта температура обмотки измеряется по сопротивлению. Термонары закладываются, как это описано в III главе. Обычные места закладки: пазовая часть обмотки (под клином), лобовые части обмотки с обеих сторон машины, спинка железа — крайние пакеты и несколько равноотстоящих друг от друга средних пакетов. Для измерения сопротивления служит схема, изображенная на рис. 112. Измерительная схема все время присоединена к машине, но во время ее работы рубильники разомкнуты и нужно предохранить их от случайного замыкания, потому что при этом произойдет короткое замыкание в цепи переменного тока, и сгорят приборы постоянного тока.

Порядок работы следующий. В начале опыта измеряется сопротивление в холодном состоянии, машина перед этим должна стоять несколько часов для того, чтобы можно было считать ее температуру равной температуре окружающего воздуха. Затем машину нагружают до номинального тока при номинальном напряжении и поддерживают этот режим в течение всего опыта. Запись ведется в таблице:

¹⁾ См. Пиотровский и Попов, Испытания машин переменного тока, вып. II, стр. 50, изд. КУБУЧ, Ленинград, 1927.

Время	$R_{\text{хол}}$	Лобо- выс- части		Паз		Железо				Вход воз- духа		Выход воз- духа		Темпера- тура ок- ружаю- щей среды	$R_{\text{гор}}$	Темпе- ратура обмотки по соп- ротива- лению
		1	2	1	2	1	2	3	4	1	2	1	2			

Когда показания всех термомпар установятся, производится остановка и измерение сопротивления в горячем состоянии. Эта остановка требует большой тщательности, быстроты и четкости. Обычно производят ее четыре человека: один выключает машину, второй тормозит, остальные двое делают отсчеты по приборам. Порядок работы следующий: один из отсчитывающих показания дает команду и одновременно пускает секундомер, по его команде выключают машину и одновременно тормозят ее; только после того, как машина совершенно остановилась, включаются рубильники измерительной схемы (последним рубильник вольтметра). Потенциометром устанавливают ток и напряжение, так чтобы стрелка, по возможности, была в середине шкалы, и делают отсчеты по команде через равные промежутки времени, обычно 15 секунд. Запись ведется в таблицу:

№ отсчета	Время	Ток	Напряжение	R

За время снятия этих точек показания приборов медленно и незначительно изменяются, поэтому особо важно иметь очень чувствительные приборы, чтобы подвижная система не „заедала“. Необходимо записывать номер прибора и отсчет делать возможно точно. В остальном подбор приборов для измерения сопротивления производится по правилам, изложенным во II главе. Для каждой точки отсчитывается сопротивление и по последним строят кривую измерения сопротивления как это было описано в главе V (стр. 177). Продолжая ее по лекалу до пересечения с вертикальной осью находят на последней сопротивление в момент 0, т. е. в момент остановки (см. рис. 111). По разнице сопротивлений в холодном и горячем состоянии подсчитывается превышение температуры, способом, описанным во II главе.

Для того чтобы можно было создать режим нагрева, необходимо машину нагрузить. Способы нагрузки те же, что для снятия нагрузочных кривых, поэтому сам опыт нагрева ведется вслед за опытом нагрузки.

Глава VII.

ИСПЫТАНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН.

§ 1. ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ.

Синхронные машины можно разделить на две категории: тихоходные машины и турбогенераторы. Обе категории различны с точки зрения электрического и механического расчета и конструктивного выполнения, но методы испытания их одни и те же. Поэтому в дальнейшем изложении подразумеваются обе категории машин, причем особенности каждой оговариваются отдельно. Почти каждая синхронная машина имеет возбудитель — нормальную машину постоянного тока, которая должна испытываться, как это описано в V главе. Обычно это испытание производится до испытания синхронной машины, иногда же для ускорения работы синхронная машина испытывается одновременно с испытанием возбудителя на нагрузку. Некоторые предварительные испытания обеих машин производятся одновременно: осмотр, измерение сопротивлений обмоток и изоляции, проверка зазоров и эксцентricности.

В большинстве случаев возбудитель может быть использован в качестве двигателя для вращения, необходимо только развернуть агрегат при пуске; при этом возбудитель работает со значительной перегрузкой, что, однако, допускается при испытании.

Обычно синхронная машина испытывается в режиме генератора. Об испытании ее в качестве синхронного двигателя и синхронного компенсатора сказано отдельно.

Синхронные машины так же, как и машины постоянного тока, наиболее полно и точно могут быть испытаны путем снятия рабочих характеристик; но это требует испытания под нагрузкой, что очень часто бывает невозможно осуществить. В этих случаях делают опыты холостого хода и короткого замыкания (так называемый косвенный метод испытаний), и по ним расчетным путем получают все необходимые технические данные. Расчеты эти не входят в задачу этой книги и не приведены, как требующие большой технической подготовки. Основные же технические данные могут быть проверены без сложных расчетов.

Ниже приводятся программы нормальных и подробных промышленных испытаний.

Подробные испытания производятся для машин новых типов или машин специального выполнения. В дальнейшем, по освоению нового типа, машины этого типа подвергаются только нормальному испытанию.

В программах материал расположен в том порядке, в котором

должна производиться работа, для того чтобы было возможно меньшее количество пересоединений, замены приборов и всяких операций. В дальнейшем изложении этот порядок не сохранен, а в каждом опыте описывается все, что относится к нормальным и подробным испытаниям.

Программа подробных промышленных испытаний синхронной машины.

Программа нормальных промышленных испытаний состоит из пунктов, помеченных звездочкой.

- * 1. Предварительные испытания (общие для всех типов машин см. III гл.).
- II. Основные испытания.
 - * 1. Опыт холостого хода.
 - * Проверка симметрии.
 - * Испытание повышением напряжения.
 - * Снятие характеристики x_c (кривой намагничивания).
 - * Определение потерь x_c .
 - Тепловое испытание.
 - 2. Опыт короткого замыкания.
 - * Снятие характеристики трехфазного к. з. и определения потерь к. з.
 - Снятие характеристики двойного однофазного к. з.
 - " " двухфазного к. з.
 - " " однофазного к. з.
 - Тепловое испытание.
 - 3. Опыт нагрузки.
 - Снятие внешней хар-ки.
 - Снятие регулировочной хар-ки.
 - Снятие V-образной хар-ки (для компенсатора).
 - Снятие рабочих характеристик (для двигателя).
 - Тепловое испытание при номинальных токе и напряжении.
 - 4. Опыт асинхронного пуска (только для двигателя и компенсатора).
 - Снятие пусковых характеристик.
 - Определение нагрева пусковой обмотки.
 - 5. Снятие осциллограмм.
 - 1. Линейного напряжения. 2. Фазного напряжения. 3. Кривой поля. 4. Внезапного к. з. 5. Асинхронного пуска (для двигателей и компенсаторов).
 - * 6. Определение к. п. д.
 - * 7. Испытание диэлектрической прочности изоляции.

§ 2. ОПЫТ ХОЛОСТОГО ХОДА.

В опыте холостого хода снимается характеристика холостого хода (кривая намагничивания), производится определение и разделение потерь x_c , проверяется симметрия фаз, ставятся обозначения на выводах, производится испытание витковой изоляции с повышением напряжения до 130% номинального в течение 5 минут, проводится длительный режим холостого хода для косвенного определения нагрева машины и производятся вентиляционные измерения; последние, впрочем, могут быть сделаны и во время других опытов.

Необходимо подчеркнуть следующее: в опыте х. х. вся магнитная система нагружена магнитным потоком так же, как и в условиях нормальной нагрузки и поэтому опыт х. х. служит для проверки магнитной системы и проверки машины напряжением.

Испытание повышением напряжения. Это испытание является обязательным при заводских испытаниях. Напряжение поднимается на 30% сверх номинального в течение 5 минут, при этом проверяется прочность витковой изоляции. Витковое замыкание, если оно имеется, может быть легко обнаружено по нагреву обмотки или дыму, идущему из нее.

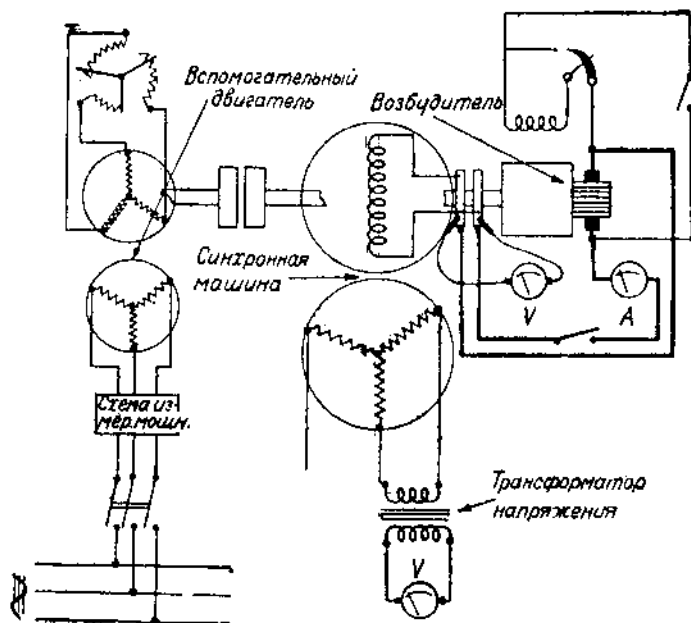


Рис. 122. Схема в опыте холостого хода синхронной машины.

Испытание это должно предшествовать снятию хар-ки х. х. и должно производиться при нормальном рабочем сопряжении фаз.

Иногда в этом опыте, для получения повышенного напряжения, приходится увеличивать ток возбуждения сверх допустимых пределов; для того чтобы этого избежать, можно увеличить скорость вращения, но не более, чем на 15%.

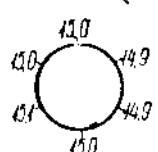
Характеристика холостого хода. Характеристика холостого хода изображает зависимость напряжения от тока возбуждения при отсутствии нагрузки. Схема соединений дана на рис. 122. Машина приводится в движение тарированным двигателем¹⁾, в качестве которого обычно служит асинхронный двигатель достаточной мощности.

До снятия характеристики агрегат должен поработать некоторое время при полном напряжении генератора, чтобы температура подшипников установилась. Затем надо напряжение поднять до 130% номинального.

¹⁾ О тарированном двигателе см. стр. 143 гл. V.

СИНХРОННЫЙ 3-ФАЗНЫЙ ГЕНЕРАТОР-ДВИГАТЕЛЬ-КОМПЕНСАТОР ТИП. С. 165,85-6. Заказ. № 00-0000. СТАТОР № 000000. РОТОР № 000000 ЗАКАЗЧИК:

4000 kW, 5000 kVA, 6300 V, 458 A, 1000 об/мин, 50 Hz, $\cos \varphi = 0,8$ продолжительно
 4000 kW, 5000 kVA, 6600 V, 438 A, 1000 об/мин, 50 Hz, $\cos \varphi = 0,8$ " "
 Исполнение открытое с вентиляцией и а п о д ш и п н. п р и в о д — паротурбина
 Направление вращения со стороны привода правое, возбуждение от своего возбужд. 65 V
 Возбудитель типа В-195, № 000000, 29 kW, 65 V, 446 A, 1600 об/мин, на валу отдельно
 Ротор имеет вентиляционные крылья

1. Сопротивления обмоток			2. Зазор в мм	3. Расположение выводов	5. Проверка симметрии
Статор при 14°	U — X	0,0403	Предписанный 15 Измеренный 15 	Вид со стороны возбуждателя U V W X Y Z	Фазы $\Delta/F 1^\circ = 80 1^\circ = 5A$ U—V 50,0 79,6 44,2 U—W 50,0 79,6 44,2 V—W 50,0 79,5 44,2
	V — Y	0,0402			
	W — Z	0,0404			
	Среднее При 15°	0,0404			
Ротор при 14°		0,0949	Вид со стороны турбины	4. Ротор испытан на угонную скорость 1200 об/мин в течение 2 минут, и на витковые замыкания 110 V на катушку	6. Сопротивление изоляции, измеренное напряжением 500 V по отношению к корпусу: Статор 100 MΩ Ротор 10 MΩ
" при 15°		0,0953			

7. Характеристика холостого хода

Приводной двигатель типа R 295 K № 000000					Испытуемая синхронная машина						
Напряжение 1°=60V	Ток		Подведен. мощность		Потери в двигателе**	Потери в испытуемой машине	Напряжение		Ток возбуждения		Час-тота число об/мин
	1°=0,25 A	Ампер	1°=24 kW	Кило-ватт			Отсчет 1°=80 V	Вольт ***	Отсчет 1°=5 A	Ампер	
108,9	72,2	18,1	71,2	171,0	15,5	155,5	103,0	8280	89,3	446,5	49,7
109,0	55,2	13,8	50,2	120,6	13,0	107,6	94,2	7570	65,3	326,5	49,8
108,7	46,8	11,7	40,0	96,0	12,0	84,0	86,3	6920	52,1	260,5	49,9
108,9	42,5	10,6	34,0	81,6	11,5	70,1	78,5	6300	43,2	216,0	49,9
109,1	39,8	9,95	30,7	73,6	11,2	62,4	67,9	5430	34,3	171,5	50,0
108,7	37,3	9,32	27,7	66,5	11,0	55,5	53,0	4245	25,5	127,5	50,0
109,0	36,7	9,18	25,9	62,1	10,9	51,2	39,6	3170	18,6	93,0	50,0
108,4	35,6	8,90	24,2	58,0	10,8	47,2	24,0	1920	10,8	54,0	50,0
108,7	35,3	8,83	23,0	55,2	10,8	44,4	—	60	0	0	50,0

Примечания. Испытание витк. изол. в теч. 5 мин.

* Схема с одним ваттметром с искусств. нулевой точкой.

** На основан. протокола калибровки двигателя.

*** Приведено к частоте 50,0 Hz.

8. Характеристика короткого замыкания.

Напряжение 1°=60V	Ток		Подвед. мощность		Потери в двигателе	Потери в испытуемой машине	Ток статора		Ток возбужд.		об/мин
	1°=0,25 A	Ампер	1°=24 kW	Кило-ватт			Отсчет 1°=5 A	Ампер	Отсчет 1°=5 A	Ампер	
108,1	47,2	11,8	40,0	96,0	12,0	84,0	59,0	495,0	50,8	254,0	995
108,2	42,5	10,6	34,3	82,3	11,5	70,8	79,1	385,5	41,0	205,0	998
108,3	39,3	9,83	29,7	71,3	11,2	61,1	60,0	300,0	31,0	155,0	1000
108,3	36,8	9,21	25,8	61,9	10,9	51,0	41,0	205,0	21,2	106,0	1000
108,1	34,8	8,70	22,9	55,0	10,8	44,2	—	—	0	0	1000

Примечания См. * и ** п. 7

9. Испытание обмоток на пробивание

Статор 15600 V в течение 1 мин.

Ротор 2000 V в течение 1 мин.

10. Вибрация весьма незначительная

Искренье на внутреннем контактном кольце — выравнивать, расположен. щеткодержателей и нажим.

Испытан 19-29 III 35 г. И. Ивкин. Проверено 19-30 III 35 г. П. Петров. Выписан 19-30 III 35 г. С. Сидоров.

Рис. 123. Пример протокола испытаний синхронной машины.

нального, как это требуется нормами для испытания изоляции витков, и, продержав его в течение пяти минут, снова снять возбуждение и разомкнуть рубильник в цепи ротора. При этом вольтметр будет показывать от нескольких вольт до нескольких десятков вольт от остаточного магнетизма. Это будет первая точка характеристики; затем, замкнув рубильник в цепи ротора, дают некоторое возбуждение и записывают ток возбуждения и напряжение на статоре, затем увеличивают возбуждение и повторяют запись, и т. д., до максимального значения напряжения; затем начинают уменьшать возбуждение и продолжают запись до нуля возбуждения (при разомкнутом рубильнике). Рекомендуется снимать точки при следующих напряжениях: без возбуждения, 30%, 50%, 70%, 100%, 120%, 100%, 80%, 60%, 40%, 20% и снова без возбуждения. Запись ведется в бланке испытаний синхронной машины, подобно показанному на рис. 123.

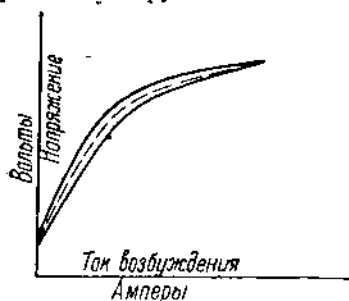


Рис. 124. Кривая намагничивания синхронной машины.

Генератор С $\frac{165}{55}$ — 6 № 00000
Зав. зак. 00—000

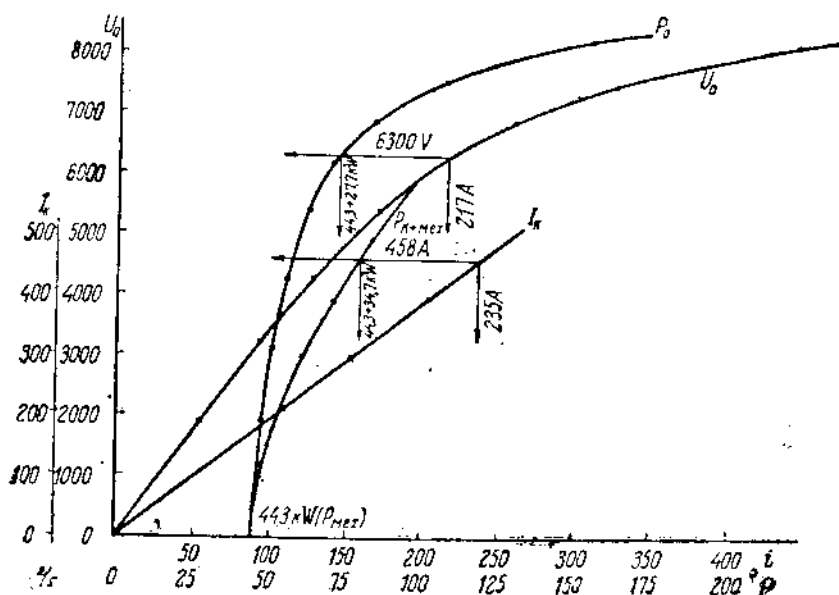


Рис. 125. Кривые холостого хода и короткого замыкания синхронной машины.

Скорость вращения следует стараться поддерживать постоянной и равной номинальной. Если иметь номинальную скорость почему-либо не удастся, то можно опыт производить и при пониженной скорости, пересчитывая затем напряжение по формуле (47), стр. 141. Ток воз-

буждения можно изменять только в одну сторону, т. е., идя вверх — только увеличивать, а идя вниз — только уменьшать. Если это условие не соблюдается, то точки не будут ложиться на плавную кривую и характеристика будет искаженной. При соблюдении указанных правил, получается характеристика, изображенная на рис. 124 жирной линией. За действительную характеристику холостого хода принимается линия, показанная на рисунке пунктиром, и проведенная на середине расстояния между обеими ветвями. Нижняя ветвь получается при увеличении тока от нуля до максимума, а верхняя — при уменьшении от максимума до нуля. Как видим, для одного и того же тока возбуждения, во втором случае напряжение выше, чем в первом; объяснение этого явления заключается в том, что при уменьшении тока возбуждения магнитный поток индуктора больше на величину, соответствующую остаточному магнетизму (явление гистерезиса).

Одновременно с записью напряжения и тока возбуждения записывают также показания приборов в цепи двигателя, главным образом ваттметров, для определения потерь холостого хода. По вычисленным значениям потерь строят кривую зависимости потерь холостого хода от напряжения, изображенную на рис. 125 (кривая, отмеченная буквой P_0). Обычно кривую потерь совмещают на одной диаграмме с кривой намагничивания (U_0), как это показано на рисунке. Ваттметры измеряют мощность, потребляемую двигателем и затрачиваемую на приведение во вращение генератора и на потери в самом двигателе. Для того чтобы учесть потери в двигателе, нужно сейчас же после снятия характеристики разъединить муфту и измерить мощность, потребляемую двигателем на холостом ходу. Мощность, потребляемая генератором, определится тогда по формуле:

$$P_0 = P_1 - P_2 - 3(I^2 - I_0^2)R - P_{\text{возб.}} \quad (89)$$

где: P_0 — потери холостого хода испытуемой машины в ваттах,
 P_1 — мощность, измеренная ваттметром, в ваттах,
 P_2 — мощность, потребляемая двигателем на холостом ходу, в ваттах,
 I — ток в цепи двигателя в амперах,
 I_0 — ток в цепи двигателя при холостом ходе в амперах,
 R — сопротивление фазы двигателя в омах,
 $P_{\text{возб.}}$ — потери возбуждения (если машина возбуждается возбуждателем, сидящим на одном валу).

Формула (89) не вполне точна, но для практических расчетов вполне пригодна. Мощность, соответствующая номинальному напряжению (см. рис. 125), дает полные потери холостого хода. Мощность, соответствующая нулю напряжения (точка пересечения кривой с горизонтальной осью), дает механические потери. Разность между этими мощностями представляет потери в железе генератора на гистерезис и токи Фуко.

Проверка симметрии напряжений. Эта проверка производится ввиду того, что асимметрия напряжений свидетельствует о неправильности выполнения соединений в обмотке. Для проверки симметрии нужно подключить к каждой паре линейных проводов вольтметр и возбудить машину до номинального напряжения. Сопряжение фаз должно быть нормальным рабочим для данной машины. Желательно, вместо трех вольтметров, произвести все три измерения поочередно одним вольтметром, так

как не все три вольтметра могут оказаться в равной мере точными и погрешности их могут быть разных знаков (у одних — в сторону превышения, у других — преуменьшения).

При проверке одним вольтметром нужно при каждом измерении поддерживать ток возбуждения постоянным. Допустимое отклонение от величины номинального напряжения не более 1%.

После этого начала фаз обозначаются буквами: U, V, W , и концы: X, Y, Z , — как показано на рис. 126.

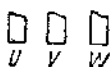


Рис. 126. Расположение выводных концов синхронной машины.

В табл. 17 дано сопряжение фаз и число выводов в турбогенераторах завода „Электросила“.

Опыт холостого хода синхронной машины может также производиться в режиме двигателя, подобно тому как описывалось для машин постоянного тока (стр. 145). Для этого машина приключается к сети нужного напряжения и частоты и работает синхронным двигателем вхолостую. Возбуждение устанавливается так, чтобы ток якоря (статора) имел наименьшее значение. Мощность, потребляемая из сети за вычетом джоулевых потерь в обмотке якоря, будет равна потерям холостого хода.

Тепловое испытание в режиме холостого хода и вентиляционные испытания производятся как описано ниже (см. §§ 8, 9).

В опыте холостого хода амперметр в цепи возбуждения должен быть взят, примерно, на половину того тока, который машина потребляет при номинальной нагрузке и $\cos \varphi = 0,8$.

§ 3. ОПЫТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.

В опыте короткого замыкания снимаются характеристики однофазного, двойного однофазного, двухфазного и трехфазного короткого замыкания. Эти кривые используются для расчетного определения эксплуатационных показателей машины. Одновременно со снятием кривых короткого замыкания определяются потери короткого замыкания, по которым в дальнейшем определяется к. п. д. Из опыта короткого замыкания определяется кратность тока короткого замыкания. Опыт длительного режима короткого замыкания служит для косвенного определения нагрева машины и производится, как описано в опыте нагрузки.

Принципиальные схемы соединения статора синхронной машины даны на рис. 127. Ротор, возбудитель и вспомогательный двигатель включаются по схеме рис. 122. Машина приводится в движение тем же двигателем, что и в опыте х. х. Трансформаторы тока во всех фазах должны быть однотипные.

Порядок работы следующий: нужно осуществить схему к. з. и пустить машину.

Затем машине дают некоторое возбуждение и записывают ток возбуждения, ток в якоре и показания приборов двигателя. Так снимают всю кривую. Рекомендуется снимать точки при 0,25%, 50%, 75%, 100%, 125% номинального тока якоря. Запись ведется в бланке (см. рис. 123).

По точкам строится кривая к. з., показанная на рис. 125 (обозначена буквой I_k). Она представляет собой прямую линию. Иногда она искривляется вначале; это может быть заметно только при снятии большого числа точек.

В случае необходимости снимаются кривые однофазного, двойного однофазного и двухфазного к. з.

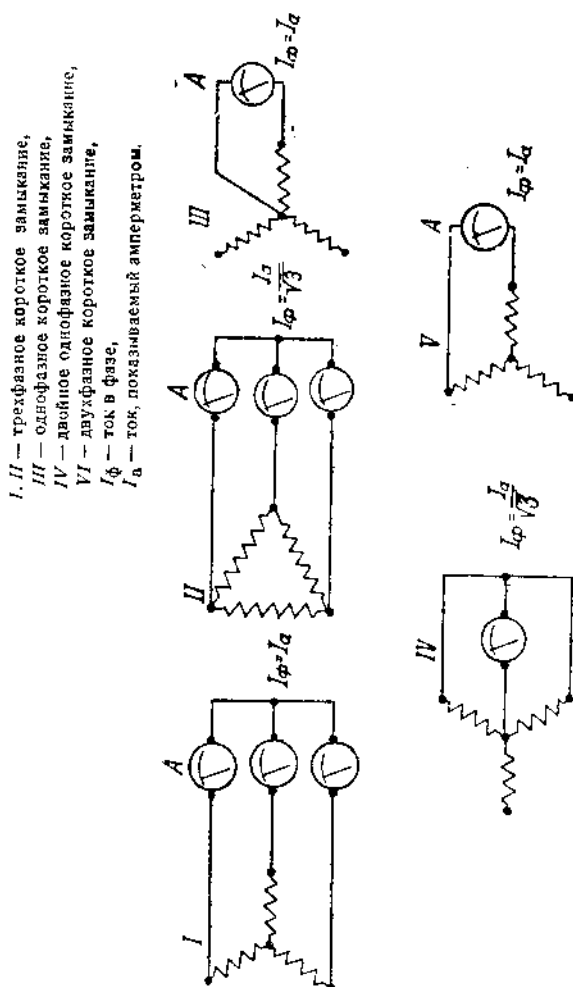


Рис. 127. Сопрежение фаз и амперметров в опыте короткого замыкания и соотношение между током в фазе и показаниями амперметров.

Схемы для снятия трехфазного, однофазного, двойного однофазного и двухфазного к. з. даны на рис. 127. Там же указано соотношение между током в фазе и током, показываемым амперметром. На это следует обратить сугубое внимание, так как ток в фазе не должен превышать 130%¹⁾ номинального при трехфазном к. з. и 30% при других замыканиях. При больших значениях тока обмотка может пострадать.

¹⁾ При сопряжении в звезду.

На паспорте машины всегда указывается сопряжение фаз и соответствующий ему номинальный ток.

Во время двухфазного и однофазного короткого замыкания ток к. з. значительно больше, чем при трехфазном к. з. при одинаковом токе возбуждения, это следует всегда иметь в виду, и так как ток к. з. пропорционален току возбуждения, то о токе к. з. можно судить по току возбуждения. При двухфазном к. з. ток возбуждения должен быть приблизительно в 1,5, а при однофазном к. з. в 2,5 раза меньше, чем при трехфазном к. з. (для получения одинакового значения).

Во время опыта однофазного, двойного однофазного и двухфазного к. з. машина находится под значительным напряжением (которое образуется в оставшейся свободной фазе).

При снятии характеристики к. з. скорость вращения может отличаться от номинальной довольно значительно, это на результаты опыта не влияет (за исключением механических и вентиляционных потерь). Менять ток возбуждения только в одном направлении, как это делается в опыте х. х., не столь обязательно, так как влияние гистерезиса в опыте к. з. ничтожно и может быть обнаружено только при исключительно точной постановке опыта.

Если испытывается однофазный генератор (или трехфазный в режиме однофазного или двухфазного короткого замыкания), в цепи возбуждения должен стоять непременно магнито-электрический амперметр, так как в этой цепи, помимо постоянного тока возбуждения, возникает еще и переменный ток, и если будет поставлен электродинамический или электромагнитный прибор, то он покажет преувеличенное значение — сумму переменного и постоянного тока.

Ток возбуждения в опыте трехфазного короткого замыкания составляет, примерно, половину тока возбуждения при номинальной нагрузке.

Определение и разделение потерь к. з. делается точно так же, как в опыте х. х. Кривая потерь к. з. показана на рис. 125 (обозначение P_k). Разность между полными потерями и механическими потерями есть потери на нагревание обмотки статора и добавочные потери, о которых говорилось в первой главе. В турбогенераторах добавочные потери составляют от 0,4% до 0,7% номинальной мощности.

§ 4. ВНЕЗАПНОЕ КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ.

Выше был описан опыт короткого замыкания, который отличался тем, что сперва осуществлялось короткое замыкание, а затем пускалась и возбуждалась машина. Если вначале пустить и возбудить синхронную машину, а затем произвести короткое замыкание (специальным включающим приспособлением), то возникающее при этом явление называется внезапным (или ударным) коротким замыканием.

В первый момент внезапного к. з. возникает резкое увеличение тока, который затем постепенно спадает и переходит в установившийся ток, соответствующий хар-ке к. з. Поэтому различают мгновенный и установившийся ток к. з. Мгновенный ток короткого замыкания значительно больше установившегося и создает большую силу взаимодействия между лобовыми частями обмотки, которые при недостаточно надежном креплении могут изогнуться, причем изоляция может дать трещины. Поэтому мгновенный ток к. з. не должен превышать опре-

деленного предела. Этим пределом по ЭПН является 15-кратное значение от номинального тока (при замыкании при номинальном напряжении). Опытная проверка производится измерением реактивного сопротивления машины, описание которого здесь не дается, или же опытом внезапного к. з.

Соответственно сказанному опыт внезапного к. з. служит для проверки прочности лобовых соединений обмотки статора. Помимо того, снимается так называемая осциллограмма к. з. (см. ниже), которая дает возможность непосредственно определить величину мгновенного тока к. з. и произвести ряд исследований. Необходимость такой проверки вытекает из того, что в условиях эксплуатации машина может под-

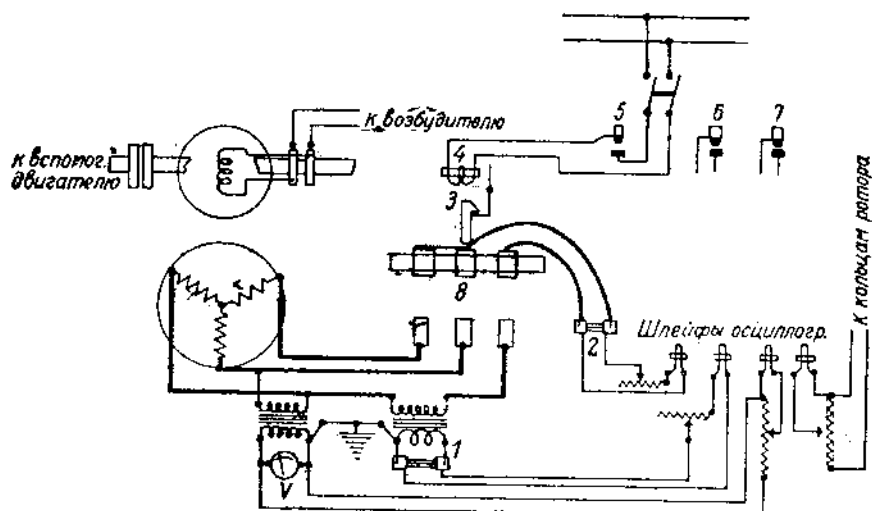


Рис. 128. Схема для внезапного короткого замыкания синхронной машины.

1, 2 — шунт, 3 — защелка, 4 — электромагнит, 5 — выключатель электромагнита, 6 — выключатель осциллографа, 7 — дистанционный выключатель вспомогательного двигателя, 8 — „гильотина“.

вергнуться к. з. Испытанию внезапным к. з. подвергают быстроходные генераторы, преимущественно турбогенераторы, так как у этих машин внезапный ток к. з. больше, чем у других, а лобовые соединения длинные и, следовательно, менее прочны, чем у тихоходных машин.

Опыт ставится следующим образом: генератор включается по схеме рис. 128. Его фазы присоединяются к гнездам так называемой „гильотины“. „Гильотина“ представляет собой рубильник особой конструкции. Она имеет три гнезда, рассчитанные на очень большой ток (тысячи или десятки тысяч ампер), выполненных так, что у них обеспечивается большая и надежная поверхность контакта с ножом. Нож представляет собой стальную пластину, на которой укреплены массивные медные накладки, которые осуществляют во время замыкания контакт с гнездами. Накладки изолированы от ножа и соединяются электрически между собой специальными планками. Нож висит над гнездами на специальной защелке. Когда защелка оттягивается, нож падает и замыкает накоротко гнезда, происходит короткое замыкание генератора, присоединенного к гнездам.

Внезапное к. з. производят после всех испытаний, но перед испытанием диэлектрической прочности изоляции.

В главе 1, § 2 было описано изменение переменного тока по величине и направлению. Графическое изображение представлено на рис. 129. На горизонтальной оси координат откладывается время, на вертикальной — величина тока, причем, когда ток течет по проводу в одном направлении, его величина откладывается вверх от начала координат, а когда он течет в обратном направлении, то вниз. Точка 1 рис. 129 соответствует тому моменту, когда тока в цепи нет, затем он появляется, увеличивается по величине (точки *a, b, c*), достигает максимума в точке 2, уменьшается (точки *d, e, f*) и в точке 3 делается равным нулю. Затем он начинает протекать в обратном направлении, увеличивается (точки *g, h, k*), достигает максимума (точка 4) и уменьшается (точки *l, m, n*) до нуля в точке 5. Затем весь процесс повторяется. Время, соответствующее расстоянию от точки 1 до точки 5, от точки 5 до точки 9 и т. д. — называется периодом. В наших электрических сетях обычно ток имеет частоту 50 периодов в секунду, или 50 герц (Hz), т. е. расстояние от точки 1 до точки 5 соответствует $\frac{1}{50}$ секунды. Наибольшее значение тока в каждом периоде (точки 2, 4, 6, 8...) называется амплитудой тока. С изменением величины тока в цепи изменяется амплитуда. Кривая, показанная на рис. 129, называется синусоидой. Но ток далеко не всегда меняется так плавно и кривая его может иметь различный вид, например, показанный на рис. 130.

Для того чтобы получить действительную кривую тока, протекающего в цепи, служит осциллограф. Принцип его работы заключается в следующем. В магнитном поле стального магнита помещена металлическая нить в виде петли, к которой приклеено маленькое зеркало (около $\frac{1}{2}$ кв. миллиметра), как показано на рис. 131. Когда по нити протекает ток, она поворачивается и с нею поворачивается зеркало. При течении тока в одном направлении, поворот происходит в определенную сторону, при течении тока в другом направлении, поворот происходит в обратную сторону. Следовательно, частота колебаний зеркала равна частоте колебаний тока. Угол поворота в каждый момент времени зависит от величины тока. На зеркало (рис. 132) падает луч света от вольтовой дуги или от специальной лампы, проходящий предварительно через специальную оптическую систему (не показанную на рис. 132) и, отражаясь от зеркала, попадает (также через другую оптическую систему, не показанную на рисунке) на ленту из светочувствительной фотобумаги, которая может двигаться с определенной скоростью. Колеблющийся отраженный луч вычерчивает на движущейся бумаге кривую тока, протекающего по нити. Если ток выключен (равен нулю), то зеркало шлейфа неподвижно и отраженный луч вычерчивает прямую линию, называемую нулевой линией. Полученная (после проявления) фотография называется осциллограммой. Нулевая линия на осциллограмме соответствует горизонтальной оси координат на рис. 129. Образцы осциллограммы приведены ниже.

Устройство, показанное на рис. 131, называется шлейфом. Шлейф присоединяется к цепи с помощью добавочных сопротивлений, шунтов или измерительных тр-ов, так как его нить рассчитывается на несколько миллиампер (4 ÷ 150). Правила включения аналогичны правилам включения миллиамперметра.

Осциллограф очень сложен и подробное его описание здесь не может быть дано.

На рис. 133 приведена осциллограмма внезапного к. з. турбогенератора 31 250 кВА, 25 000 kW, 6300 V, 2860 A. На осциллограмме сняты:

1. Фазное напряжение генератора (верхняя кривая). Как видим, в момент к. з., оно резко уменьшается по амплитуде почти до нуля и остается таким во все время к. з.

2. Ток в статоре (средняя кривая). Как видим, до к. з. он равен нулю; в момент к. з. он появляется и его первая амплитуда, помеченная цифрой 3, есть наибольшая. Это и есть мгновенный ток к. з., который затем быстро уменьшается и в течение приблизительно 20 периодов (т. е. меньше половины) достигает установившейся величины (помечено цифрой 4). Это и есть установившийся ток к. з.

Для того чтобы определить величину тока к. з. в амперах, перед снимком снимается масштаб, т. е. определяется отклонение шлейфа, соответствующее определенной величине тока.

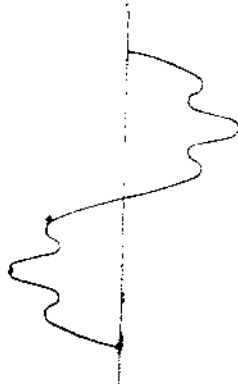


Рис. 130. Кривая несинусоидального переменного тока.

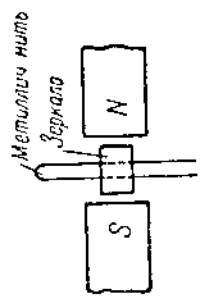


Рис. 131. Штатив осциллографа.

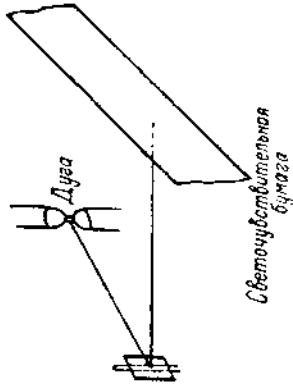


Рис. 132. Принципиальная схема осциллографа.

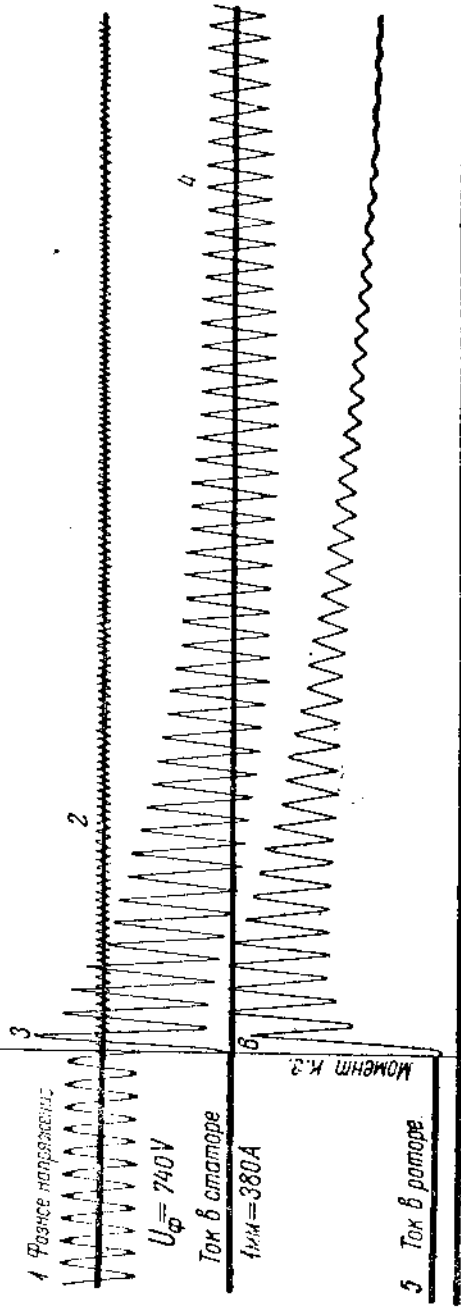


Рис. 133. Осциллограмма внезапного короткого замыкания.

3. Ток в роторе (нижняя кривая). Как видим до к. з. — это постоянный ток. Линия, его изображающая, параллельна нулевой линии (помечена цифрой 5). Расстояние от линии 5 до нулевой линии соответствует величине тока.

В момент к. з. в обмотке ротора появляется дополнительный переменный ток (б), индуктированный током статора и вместе с ним уменьшающийся.

§ 5. СПОСОБЫ НАГРУЗКИ.

Для проведения опыта нагрузки и нагрева в нормальных условиях необходимо машину нагрузить.

Совместная работа синхронных машин и регулировка их коренным образом отличается от совместной работы машин постоянного тока. Подробно остановиться на этом вопросе нет возможности за недостатком места. Читатель должен будет в случае необходимости познакомиться с литературой, посвященной этому вопросу. Перечислим только основные положения.

1. Нагрузка на сеть заключается в том, что испытуемая машина, работающая генератором, приводится во вращение каким-либо двигателем равной или большей мощности и приключается к сети, имеющей такое же напряжение и частоту, как и испытуемый генератор. Менять напряжение во время опыта почти невозможно; изменение тока возбуждения генератора вызывает только изменение коэффициента мощности ($\cos \varphi$); изменение напряжения при этом происходит очень небольшое и тем меньшее, чем меньше мощность испытуемого генератора по сравнению с мощностью остальных машин, питающих сеть.

Нагрузку возможно регулировать, создавая механическое опережение на валу двигателя: если двигатель постоянного тока, то уменьшением тока возбуждения, если асинхронный — увеличением частоты питающего его генератора, если паротурбина — увеличением подачи пара и т. д.

Скорость вращения регулировать не нужно — машина сама держится в синхронизме (т. е. вращается с синхронной скоростью, соответствующей частоте сети).

2. Нагрузка с помощью нагрузочного генератора. Испытуемая машина работает в режиме двигателя и приводит во вращение генератор постоянного тока равной или большей мощности, который грузится на сеть постоянного тока или реостат. Пуск осуществляется асинхронный, если синхронная машина имеет пусковую обмотку (см. ниже) или же со стороны постоянного тока. В последнем случае пускают машину постоянного тока двигателем от сети постоянного тока и доводят скорость вращения синхронной машины до синхронной скорости. После этого включают синхронную машину в сеть переменного тока, как это будет описано ниже. Для того чтобы перевести машину постоянного тока в режим генератора, а машину переменного тока в режим двигателя, нужно увеличить ток возбуждения машины постоянного тока.

Изменение нагрузки достигается регулировкой нагрузки генератора постоянного тока (изменением его возбуждения).

Регулировка $\cos \varphi$ осуществляется изменением тока возбуждения синхронной машины.

3. Нагрузка при $\cos \varphi = 0$. Этот метод по существу дела не является нагрузкой; машина работает при $\cos \varphi = 0$, но при полном токе и при

полном напряжении, следовательно, в условиях, близких к нормальной нагрузке. В этом режиме проверяется магнитная система, изоляция и производится опыт нагрева. Машина включается в сеть и работает наподобие компенсатора. Пуск производится асинхронный или вспомогательным двигателем. Иногда вспомогательным двигателем может служить возбудитель.

4. Взаимная нагрузка. Способов взаимной нагрузки существует два: а) две синхронные машины спаривают муфтой; б) имеются два

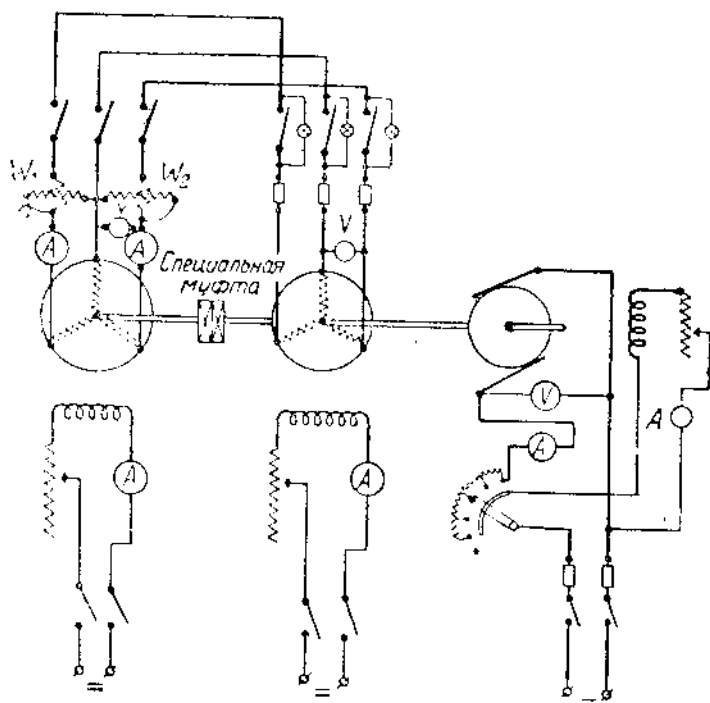


Рис. 134. Схема взаимной нагрузки синхронных машин, спаренных муфтой.

Роторы обеих машин должны быть так спарены, чтобы полюса одного были сдвинуты относительно полюсов другого на определенный угол. Этот угол должен быть определенный для каждой величины нагрузки.

агрегата, из коих каждый состоит из синхронной машины и машины постоянного тока, синхронные машины соединяют между собой электрически, а машины постоянного тока включают в сеть. Этот способ очень удобен в заводских условиях, где почти всегда имеются однотипные или схожие агрегаты.

а) Машины, спаренные муфтой, включаются по схеме рис. 134. Для того чтобы возможно было осуществить нагрузку, необходимо, чтобы роторы обеих машин были спарены так, чтобы полюса одного были сдвинуты относительно полюсов другого. Этим углом определяется величина нагрузки и чтобы нагрузку изменить, необходимо переместить роторы друг относительно друга, что является большим

неудобством этого метода и делает его практически трудно применимым.

Пуск осуществляется асинхронный или с помощью возбудителя в качестве двигателя. Ток возбуждения для этих машин может быть взят от сети или от одного из возбудителей, так как обычно возбудители обладают значительным запасом мощности.

б) Взаимная нагрузка, осуществляемая по схеме рис. 135, с помощью двух агрегатов, имеет значительные преимущества, так как машины работают в совершенно нормальных условиях, регулировка возможна в широких пределах и требуется наличие только сети постоянного тока, причем сравнительно небольшой мощности, так как она должна покрывать только потери в машинах, что очень экономично.

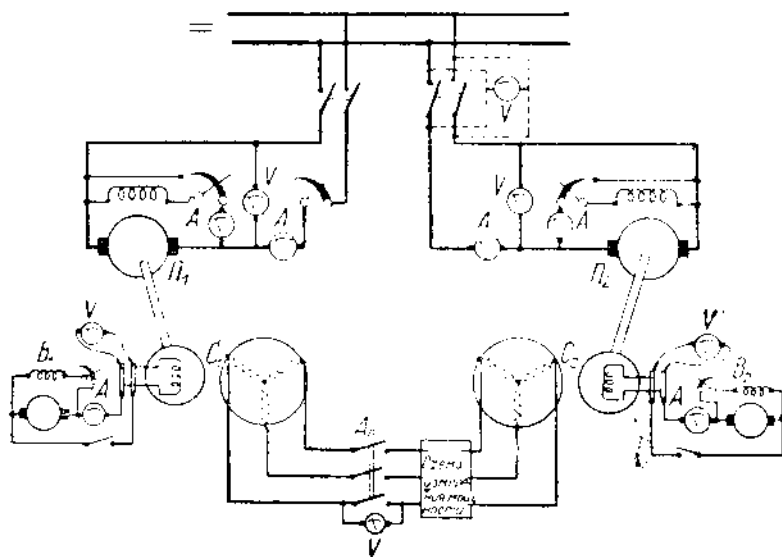


Рис. 135. Схема взаимной нагрузки синхронных машин.

H_1 — двигатель постоянного тока; C_1 — синхронный генератор; H_2 — генератор постоянного тока; C_2 — синхронный двигатель; B_1, B_2 — возбудители; AB — автом. выключатель.

Пуск осуществляется обычно методом повышения частоты, описанным ниже. Доведя до синхронной скорости (проверяется частотомером или тахометром) оба агрегата, возбуждают генератор постоянного тока и включают его на параллельную работу с сетью постоянного тока по обычным правилам, т. е. проверив совпадение полярности сети и генератора (плюс с плюсом и минус с минусом) и равенство напряжений.

Изменение нагрузки осуществляется регулировкой тока возбуждения машин постоянного тока. Увеличение нагрузки достигается уменьшением тока возбуждения двигателя и увеличением тока возбуждения генератора. Регулировка напряжения и $\cos \phi$ осуществляется регулировкой возбуждения обеих синхронных машин.

Регулировка скорости вращения достигается регулировкой возбуждения машин постоянного тока.

Машины в этом опыте желательно иметь совершенно одинаковыми, но допустимы и отклонения. В случае различных машин они не должны

значительно разниться по напряжению. Во всяком случае, во время опыта ток и напряжение не должны значительно превышать соответствующие номинальные значения обеих машин.

Во всех описанных методах нагрузки энергия, потребляемая из сети, возвращается обратно в сеть (ту же или другую), за вычетом потерь во всех машинах, что представляет большие преимущества в отношении экономии энергии.

Все же иногда для средних и довольно часто для маленьких машин — удобнее бывает грузить на реостаты. Для этого синхронная машина должна работать в режиме двигателя и вращать генератор постоянного тока, работающий на реостаты. Можно также вращать синхронную машину каким-либо двигателем и непосредственно нагружать ее на реостаты (режим генератора). В первом случае регулировка такая же, как при работе двигателем от сети с нагрузочной машиной, работающей на сеть постоянного тока (см. стр. 217).

Во втором случае регулировка нагрузки производится реостатами. Регулировка напряжения производится регулировкой тока возбуждения. Изменение $\cos \varphi$ достигается изменением индуктивного сопротивления нагрузки, для чего, помимо реостатов, должны быть реакторы. Чаше ограничиваются опытом при $\cos \varphi = 1$. (Последний способ употребителен при испытании генераторов гидро-электрических станций.)

§ 6. ПУСК И ВКЛЮЧЕНИЕ В СЕТЬ.

Необходимо также остановиться на способах пуска синхронных машин. Существуют три способа: 1. Пуск посторонним двигателем, когда машина доводится до синхронизма своим основным или вспомогательным двигателем и затем включается в сеть. 2. Пуск постепенным увеличением частоты. 3. Асинхронный пуск.

Здесь описаны первые два способа, третий же будет описан ниже, так как он может составлять самостоятельный опыт при испытаниях.

Пуск от постороннего двигателя. Для того, чтобы синхронный генератор возможно было включить в сеть переменного тока, должны быть соблюдены следующие условия: 1. Порядок следования фаз генератора и сети должен совпадать. 2. Частоты и напряжения генератора и сети должны быть равны. Включение должно быть произведено в момент совпадения фаз сети и генератора.

1. Для того чтобы проверить порядок следования фаз, удобнее всего иметь маленький асинхронный двигатель, обозначить совершенно произвольно его концы цифрами 1, 2, 3, включить на сеть, заметить направление вращения и отметить соответствующие концы сети теми же цифрами. Затем нужно двигатель пустить от генератора так, чтобы он вращался в ту же сторону и также отметить концы обмотки генератора. Сеть и генератор так присоединяются к рубильнику, чтобы при его включении соединились 1 и 1, 2 и 2, 3 и 3.

2. Для проверки равенства напряжений должен быть вольтметр, который с помощью переключателя включается поочередно на сеть и генератор. Можно также иметь два вольтметра, но это не очень надежно, так как в случае неточности одного вольтметра (или обоих), напряжения будут неравны, что вызовет при включении толчок тока, опасный для машины.

Для проверки равенства частот и совпадения фаз служит особый прибор — синхроскоп или фазные лампы.

Синхроскоп (описание здесь не приводится) имеет обычно шесть зажимов и включается тремя проводниками в сеть до рубильника и тремя проводниками присоединяется к генератору. Перед пуском генератора стрелка (или тень вместо стрелки в некоторых синхроскопах) быстро вращается; когда генератор пущен и возбужден, стрелка вращается медленнее и тем медленнее, чем ближе скорость генератора к синхронной. Когда скорость синхронная, стрелка синхроскопа останавливается, и в этот момент, уравнив напряжение по вольтметру, нужно включить рубильник. Если скорость генератора будет выше

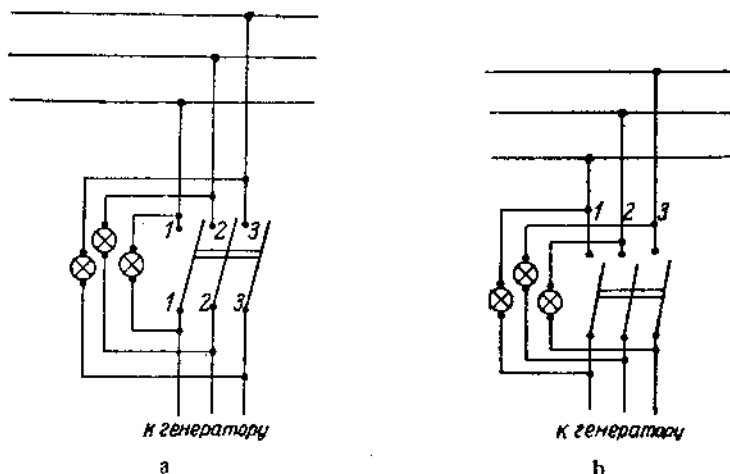


Рис. 136. Схемы синхронизации синхронной машины с сетью при помощи ламп.

синхронной, то стрелка синхроскопа начнет вращаться в обратную сторону. На синхроскопе имеются указательные стрелки и надписи (относящиеся к машине) „отстает“, „опережает“.

Фазные лампы включаются по схеме рис. 136а „на потухание“ или по схеме рис. 136б („перекрестная“ схема) „на горение“. В обоих случаях перед пуском генератора все лампы горят с одинаковым накалом. По мере того, как пущенный и возбужденный генератор увеличивает скорость, лампы начинают тухнуть и вновь зажигаться. При приближении к синхронной скорости свет начинает мелькать все медленней и медленней, причем при включении по схеме 136а лампы тухнут и загораются одновременно, при включении по схеме 136б — зажигание происходит по очереди (свет кажется вращающимся). В момент синхронизма лампы, включенные по схеме рис. 136а, тухнут; при включении же по схеме 136б тухнет только одна лампа (присоединенная к одноименным зажимам), а остальные две светят с полным накалом. В этот момент и включается рубильник. Включение должно производиться быстро и решительно. Если скорость вращения генератора поднимается выше синхронной, то свет снова мелькает, причем при включении по схеме 136б свет кажется вращающимся в обратную сторону.

Лампы подбираются на напряжение не меньше линейного напряжения сети. В случае высокого напряжения лампы включаются через измерительные трансформаторы напряжения.

Фазные лампы позволяют также проверить порядок следования фаз без асинхронного двигателя, описанного выше. Если зажигание и потухание ламп происходит как описано, то порядок следования фаз машины и сети совпадает. Если при соединении по схеме 136а явления происходят, как описано для схемы 136б, или наоборот, то порядок следования фаз не совпадает, и следует поменять местами любые два проводника от машины к рубильнику.

Пуск синхронного двигателя изменением частоты заключается в том, что пускаемый двигатель соединяется электрически до пуска с вспомогательным синхронным генератором. Обе машины возбуждают в неподвижном состоянии, затем начинают разворачивать генератор, почти одновременно с ним трогается двигатель и затем у обеих машин изменение скорости происходит одновременно (т. е. машины вращаются синхронно).

Схема та же, что показана на рис. 135. Между синхронными машинами достаточно иметь амперметр, по которому наблюдают изменения силы тока при пуске и вольтметр для измерения напряжения.

Ток возбуждения обеих машин зависит от мощности машин и в каждом отдельном случае подсчитывается (довольно сложно). Для машин равной мощности генератор должен быть возбужден до номинального тока возбуждения, а пускаемая машина до половинного. По мере увеличения скорости вращения необходимо постепенно выравнивать токи возбуждения обеих машин.

Для того чтобы возможно было осуществить такой пуск, генератор должен обладать мощностью не меньше половины мощности пускаемой машины.

§ 7. ОПЫТ НАГРУЗКИ.

Внешняя характеристика. Внешняя характеристика представляет собой зависимость изменения напряжения генератора от изменения нагрузки (в данном случае от силы тока) при неизменном токе возбуждения, неизменном $\cos \varphi$ и неизменной частоте (скорости вращения). Эта характеристика дает возможность определить повышение напряжения при сбросе нагрузки и падение напряжения при принятии нагрузки. Это имеет такое же значение в эксплуатации, как и для машин постоянного тока. Внешнюю характеристику снимают с помощью одного из способов нагрузки, описанных выше (предпочтительнее — способ взаимной нагрузки или нагрузки на реостаты).

Генератор пускают, устанавливают номинальное напряжение на холостом ходу, записывают показания приборов. Затем дают некоторую нагрузку генератору, одновременно поддерживая скорость постоянной и, не меняя тока возбуждения, записывают показания приборов. Затем так же снимают следующие точки. Достаточно снять восемь точек: 0, 15%, 30%, 40%, 50%, 60%, 80%, 100% номинальной нагрузки синхронного генератора (по ваттметрам). Запись ведется в таблице и по ней строят кривую, показанную на рис. 137. Таких кривых следует снять несколько при разном $\cos \varphi$ и различном характере нагрузки:

индуктивной, активной и емкостной. Эти кривые показаны на рис. 137. Они дают изменение напряжения при изменении нагрузки. Как видим из рис. 137, при омической и индуктивной нагрузках (какие преимущественно бывают в эксплуатации) напряжение падает с увеличением нагрузки. При емкостной же увеличивается.

Обычно важно знать повышение напряжения при сбросе нагрузки. Для того чтобы это определить, поступают следующим образом: когда установлена номинальная нагрузка, приводят напряжение к номинальной величине (точки 1 на рис. 138) и снимают кривую, как было описано, но уменьшая нагрузку. Получается кривая, изображенная на рис. 138 и схожая с предыдущими.

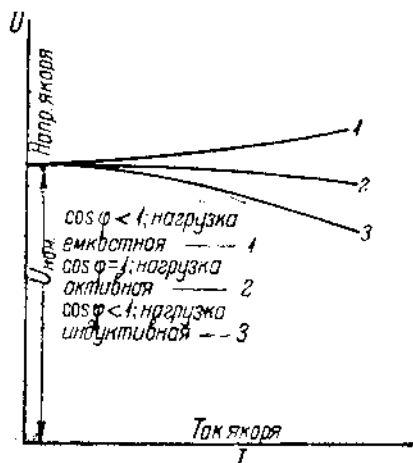


Рис. 137. Внешние характеристики синхронного генератора при различном характере нагрузки: индуктивной, активной, емкостной.

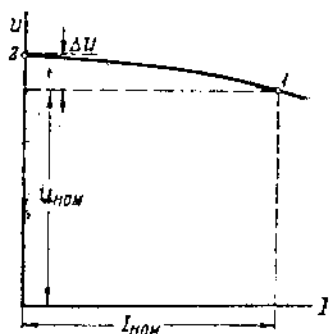


Рис. 138. Определение повышения напряжения синхронного генератора при сбросе нагрузки.

Повышение напряжения при сбросе нагрузки определяется по формуле:

$$\Delta U = \frac{U_{\text{макс}} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (54a)$$

где: ΔU — изменение напряжения в $\frac{\%}{\%}$ от номинального,

$U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение,

$U_{\text{макс}}$ — напряжение, когда нагрузка сброшена.

Регулировочная характеристика. Регулировочная характеристика определяет зависимость тока возбуждения от силы тока в якоре при постоянных: напряжении, $\cos \varphi$ и частоте (скорости). Иначе говоря, эта кривая показывает в каких пределах необходимо изменять возбуждение с изменением нагрузки, и следовательно, позволяет определить необходимую мощность возбудителя и пределы его регулировки.

Так как потребный ток возбуждения тем больше, чем меньше $\cos \varphi$ при заданном токе нагрузки (индуктивной), то регулировочную кривую следует снимать при индуктивной нагрузке и номинальном коэффициенте мощности ($\cos \varphi$). Обычно номинальный $\cos \varphi = 0,8$ (для генераторов).

Регулировочные кривые в зависимости от характера нагрузки показаны на рис. 139.

Кривая снимается следующим образом. Собирается схема нагрузки в режиме генератора (предпочтительно — взаимная нагрузка). На холостом ходу синхронного генератора устанавливается регулировкой возбуждения синхронных машин номинальное напряжение, при котором должна сниматься кривая. Записывают показания, затем дается некоторая нагрузка и регулировкой возбуждения синхронных машин устанавливается прежнее напряжение и заданный $\cos \phi$. Производится запись показаний приборов и затем так же снимаются остальные точки. Желательно иметь точки 0, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, 125% номинальной мощности. Показания приборов записываются в виде таблицы. Записываются показания амперметра в цепи возбуждения, частотомера, амперметра, вольтметра и ваттметров в цепи якоря.

Ток возбуждения синхронного генератора следует регулировать так же, как при снятии характеристики холостого хода, в одну сторону.

V-образные кривые

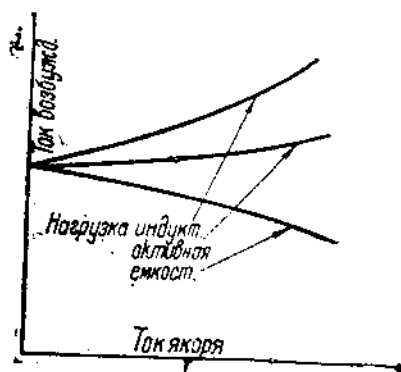


Рис. 139. Регулировочные кривые синхронной машины.

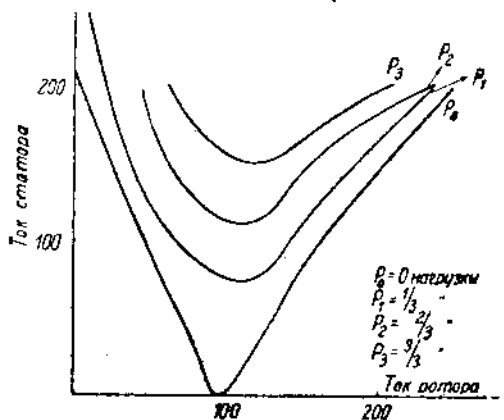


Рис. 140. V-образные кривые синхронной машины.

$\cos \phi$ во время опыта проверяется по показаниям амперметра, вольтметра и ваттметров в цепи переменного тока см. гл. I, § 2. Частота (скорость вращения) поддерживается постоянной.

V-образная характеристика представляет собой зависимость тока якоря от тока возбуждения при постоянной величине напряжения и частоты. Это есть рабочая характеристика синхронного компенсатора. Иногда она снимается для двигателя, так как последний тоже может работать синхронным компенсатором. Если испытывается двигатель, то нужно снять несколько кривых при различных нагрузках ($1/4$, $1/2$, $3/4$, 1).

Машину пускают тем или другим способом и включают в сеть. Затем дают наименьший ток возбуждения, при котором машина работает в синхронизме и ток якоря не превышает номинальный больше, чем на 25%. Записывают показания приборов и затем увеличивают ток возбуждения, повторяют запись и т. д. При снятии кривой для двигателя его нагрузка (на валу) должна в течение опыта оставаться неизменной.

Первоначально с увеличением тока возбуждения ток якоря уменьшается. Затем при некотором токе возбуждения ток якоря достигнет

наименьшей величины. В этот момент $\cos \varphi$ будет равен единице.¹⁾ При дальнейшем увеличении тока возбуждения ток в якоре будет расти и когда он достигнет номинальной величины (или превышающей на 25%), кончают снимать кривую. При этом $\cos \varphi$ будет уменьшаться до очень малой величины. В течение всего опыта $\cos \varphi$ определяется по показаниям приборов с помощью формулы (7), см. гл. I, § 2. Изменение тока якоря в зависимости от тока возбуждения (V-образные кривые) при различных нагрузках двигателя показано на рис. 140.

§ 8. ТЕПЛОВОЕ ИСПЫТАНИЕ (НАГРЕВ).

Цель опыта нагрева для всех типов машин одна: установить максимальную мощность, которую может развивать машина без недопустимого перегрева своих частей. Подробно об этом см. гл. I и IV. Рекомендуем ознакомиться с „Электротехническими правилами и нормами“, стр. 116, изд. 1933 г.

Нагрев синхронных машин определяется либо косвенным методом, либо методом непосредственной нагрузки.

Косвенный метод заключается в том, что машина работает длительно до установившейся температуры всех частей в режиме х. х. при номинальном напряжении, и затем в режиме длительного к. з. при номинальном токе в якоре. На основании этих испытаний можно предопределить температуру (перегрев) машины в условиях нормальной нагрузки. Для обмотки статора перегрев при номинальной нагрузке принимается равной сумме перегревов, измеренных в опыте холостого хода и короткого замыкания. Для обмотки возбуждения — производится пересчет с учетом изменения тока возбуждения при нагрузке.

Этот метод дает несколько преувеличенные значения.

Наиболее точные результаты можно получить, если испытывать машину методом непосредственной нагрузки, т. е. при номинальном напряжении и номинальном токе. Для этого машину следует либо нагрузить в нормальных условиях (на месте установки, напр.), или же пустить двигатель на х. х. и перевозбудить машину так, чтобы она работала при низком $\cos \varphi$ и номинальных токе и напряжении. В этих условиях машина будет нагреваться приблизительно так же, как при номинальной нагрузке, но будет потреблять из сети энергию только на покрытие потерь в машине.

Можно также использовать схему взаимной нагрузки и возбуждение синхронных машин отрегулировать так, чтобы они работали при номинальных величинах напряжения и тока, и при заданном $\cos \varphi$; при этом весь агрегат будет потреблять энергию на покрытие потерь во всех машинах.

Методы измерения температуры описаны во II главе, а места и способы закладки термпар, детекторов сопротивления и термометров описаны в III главе. Особого внимания требуют лобовые части обмотки, нажимные плиты и крайние пакеты статора и обмотка ротора, как наиболее нагревающиеся части. Температура ротора измеряется методом вольтметра и амперметра, со строгим соблюдением всех правил измерения сопротивления, причем амперметр все время включен в цепь возбуждения, а напряжение снимается с колец специальными щетками,

¹⁾ Приблизительно.

показанными на рис. 122. Эти щетки лучше всего выполнить из медной пряжи или фольги, свернутой в плотные пакеты, укрепленные в ручках из изолирующего материала и имеющие провода к вольтметру. Щетки прикладываются к кольцам только на время измерения.

Опыт ведется в следующем порядке: машина должна стоять несколько часов до начала опыта для того, чтобы температуру ее частей можно было считать равной температуре окружающего воздуха. Передпуском измеряется сопротивление ее обмоток и температура, так называемое измерение в холодном состоянии. Если это измерение почему-либо произвести затруднительно, то можно в крайнем случае воспользоваться результатами измерений при предварительных испытаниях, но точность опыта от этого может сильно пострадать.

Затем машина пускается в том режиме, в котором она должна испытываться (короткое замыкание, холостой ход, нагрузка). Через каждые полчаса записываются показания всех приборов и температура всех частей машины. Температуру ротора в начале опыта желательно измерять по сопротивлению через каждые четверть часа, во избежание перегрева.

Первоначально температура изменяется значительно, затем все меньше и меньше, и по истечении нескольких часов устанавливается окончательно. Установившейся ее можно считать, когда три измерения, произведенные одно за другим, для всех частей дадут отсутствие изменения температуры. У малых машин температура устанавливается за 4—6 часов работы, у крупных — за 6—10 часов.

Когда температура установилась, производится остановка. Машину нужно выключить, возможно быстро затормозить и произвести измерение сопротивления обмоток, так называемое измерение в горячем состоянии. Измерение можно производить только после полной остановки, так как в якоре при вращении ротора индуцируется переменная электродвижущая сила, более чем достаточная для того, чтобы повредить приборы измерительной схемы. При измерении все посторонние цепи должны быть отключены, чтобы не исказить истинного значения сопротивления (однополюсное соединение с другими цепями допустимо).

Не допускается электрическое торможение испытуемой машины, так как оно вызывает дополнительный нагрев.

После опыта желательно измерить сопротивление изоляции в горячем состоянии.

§ 9. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ.

Эти испытания служат для проверки расчета и как материал для нового расчета системы вентиляции машины. Помимо того, по расходу и температуре воздуха определяются потери в машине. Это является одним из новейших методов измерения потерь для определения к. п. д. Вентиляционные испытания в специальных исследовательских работах представляют собой одну из сложнейших и интереснейших задач.

Вентиляционным испытаниям подвергаются в основном машины с замкнутым циклом вентиляции, преимущественно турбогенераторы, где вентиляционная система подробно разработана и рассчитана и где есть возможность измерить все количество проходящего воздуха. Изме-

рения эти обычно производятся в одном из длительных режимов (х. х., к. з., нагрузки), так как требуют времени.

Машина обшивается фанерой так, чтобы воздух из камер горячего воздуха поступал в квадратную или прямоугольную трубу, также сделанную из фанеры. В случае необходимости снимается обшивка генератора. На рис. 141 показана такая труба, надстроенная на турбогенераторе 24 000 kW, установленном на станции. Иногда делают две трубы. Длина трубы должна быть не более 1—1,5 метров для того, чтобы горячий воздух не остывал в ней. По сечению трубы, отступая внутрь от наружного конца трубы на 150—200 мм, натягивают сетку

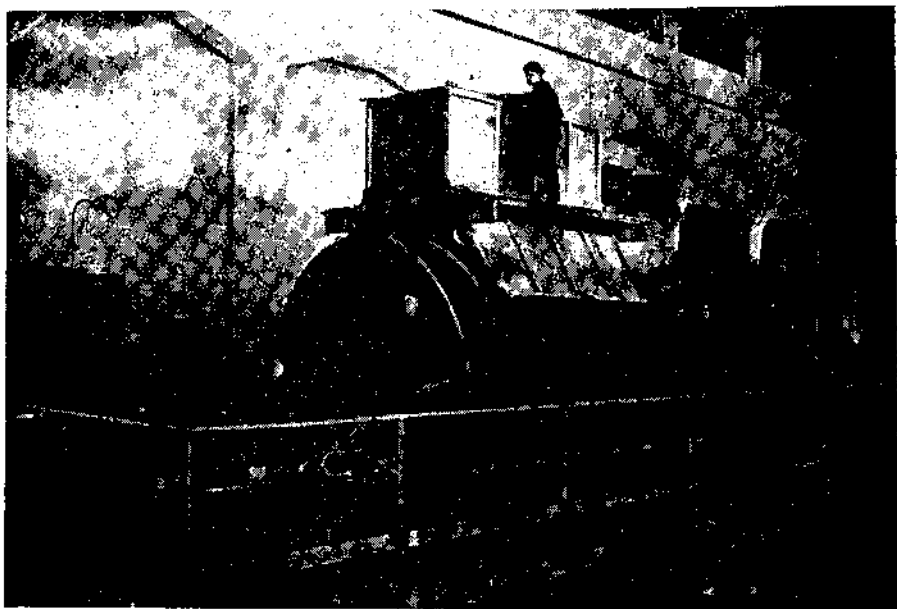


Рис. 141. Труба из фанеры, пристроенная к турбогенератору для вентиляционных испытаний.

из тонкой стальной проволоки, которая делит сечение трубы на квадратики со сторонами 100—150 мм. В местах пересечения проволок сетки укрепляются термодатчики. Термодатчики крепятся к сетке так, чтобы сами не образовывали добавочной сетки, которая могла бы оказать дополнительное сопротивление движению воздуха. Термодатчик должно быть 15—20 штук, равномерно расположенных по сечению трубы. Для контроля измерений на сетке подвешиваются 4—6 термометров, также равномерно расположенных по сетке.

То же самое, но в меньшем количестве нужно сделать на входе воздуха. На самом входе, но не внутри машины натягивается крепкая бечевка (проволоку натягивать опасно), на которой привязывают 3—6 термодатчик и два термометра. Все это должно быть надежно укреплено, чтобы не затянуло в машину. Термометры должны быть так расположены, чтобы при отсчете наблюдатель находился возможно дальше от выводов машины.

Измерения воздуха производят трубкой Пито или анемометром, как это описано во II главе.

Если измерения производятся анемометром, то его держат в каждом квадратике по 10 секунд, причем один из работающих следит по секундомеру и каждые 10 секунд подает сигнал, а другой, который держит анемометр, передвигает его в этот момент на следующий квадратик. По окончании измерения делят количество метров, показанных анемометром, на число секунд, в течение которых производилось измерение, и получают среднюю скорость воздуха по сечению трубы.

Например, перед началом измерения стрелки анемометра показывали 10 135 метров, после измерения 12 270 метров, измерение производилось 11 минут 40 секунд, т. е. 700 секунд. Скорость воздуха:

$$\frac{12270 - 10135}{700} = 3 \text{ метра в секунду (приблизительно).}$$

Если измерение производится трубкой Пито, то определяется, как было описано во II главе, скорость воздуха в каждом квадратике. Полученные скорости складывают и делят на число измерений; это будет также средняя скорость воздуха по сечению трубы.

Зная сечение трубы и среднюю скорость воздуха по формуле (27), определяют количество воздуха, выходящее из машины в одну секунду.

По термопарам, укрепленным на выходе и входе воздуха, производят измерения одновременно с вентиляционными. Сумма температур, измеренных термопарами на выходе воздуха, разделенная на число этих термопар, дает среднюю температуру выходящего воздуха. Сумма температур, измеренных термопарами, расположенными на входе воздуха, разделенная на число этих термопар, дает среднюю температуру входящего воздуха. Разность температур выходящего и входящего воздуха есть число градусов, на которое нагрелся воздух в машине.

Теперь можем определить количество тепла, которое уносит нагретый воздух каждую секунду. Для этого служит формула:

$$P_v = v \cdot S \cdot \gamma c (t_2 - t_1), \quad (90)$$

где P_v — количество тепла, отводимое в одну секунду (киловатты),

v — скорость воздуха в метрах в секунду,

S — сечение трубы в квадратных метрах,

γ — удельный вес воздуха в килограммах на кубический метр (см. главу II, стр. 64),

c — удельная теплоемкость воздуха в киловатт-секундах на один килограмм и один градус (приблизительно $c = 1$),

t_2 — температура выходящего воздуха,

t_1 — температура входящего воздуха.

Количество тепла, вычисленное по формуле (90), соответствует той части потерь в машине, которая отводится охлаждающим воздухом.

§ 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ К. П. Д.

Здесь рассмотрим наиболее употребительные методы определения коэффициента полезного действия.

Метод непосредственного измерения мощностей. ¹⁾ Для испытания

¹⁾ Применяется только для машин малой мощности.

этим методом требуется тарированная машина постоянного тока, по мощности равная испытуемой и спаренная с ней.

1. Испытуемая машина работает двигателем, вспомогательная — генератором. Синхронная машина потребляет энергию сети переменного тока или от отдельного агрегата, тарированный генератор нагружается на сеть постоянного тока или на реостат. В цепи обеих машин включены приборы.

Подводимая мощность переменного тока — P_1 — измеряется ваттметрами. Мощность, отдаваемая машиной постоянного тока (при независимом возбуждении), измеряется по вольтметру и амперметру якоря P_2 . Мощность, отдаваемая синхронной машиной машине постоянного тока, больше, чем отдаваемая машиной постоянного тока, так как в последней есть потери; если машина тарирована, то ее потери известны и, следовательно, отдаваемую мощность можно вычислить по формуле:

$$P_2 = P_3 + P, \quad (91)$$

где: P_2 — мощность, отдаваемая синхронной машиной,

P — потери в тарированной машине.

К. п. д. синхронной машины определяется согласно формуле:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3 + P}{P_1}. \quad (92)$$

2. Испытуемая машина работает генератором, тарированная — двигателем. Потребляемая мощность постоянного тока — P_3 . Мощность, отдаваемая синхронной машине:

$$P_1 = P_3 - P. \quad (93)$$

Мощность, отдаваемая синхронной машиной (по ваттметру) — P_2 ; к. п. д. синхронной машины:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_3 - P}. \quad (94)$$

Метод измерения отдельных потерь. Потери определяются следующими способами:

1. Потери холостого хода — P_0 , т. е. сумма потерь в железе, вентиляционных потерь и потерь в подшипниках, определяются из опыта длительного холостого хода при номинальном напряжении, когда все температуры установились (см. § 8).

2. Потери короткого замыкания — P_k , т. е. сумма джоулевых потерь в обмотке якоря и добавочных, определяются из опыта короткого замыкания при номинальном токе. [Для машин мощностью ниже 100 киловатт потери короткого замыкания могут определяться как для асинхронных двигателей — см. формулу (73).]

3. Потери возбуждения — $P_{\text{возб}}$ вычисляются по формуле:

$$P_{\text{возб}} = \frac{U_{\text{ном}} I_{\text{ном}}}{1000}, \quad (95)$$

где: $U_{\text{ном}}$ — напряжение возбудителя при номинальном режиме (вольт), $I_{\text{ном}}$ — ток возбуждения при номинальном режиме (ампер).

Примечание. Если к. п. д. определяется не для номинального режима машины, то значения перечисленных выше потерь нужно брать для тех токов и напряжений, которые соответствуют заданному режиму.

Для машины, работающей генератором, коэффициент полезного действия определяется по формуле:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + P_k + P_{\text{возб}}}, \quad (96)$$

где P_2 — мощность, отдаваемая генератором (измеренная ваттметрами). Если машина работает двигателем, то:

$$\eta = \frac{P_1 - P_0 - P_k - P_{\text{возб}}}{P_1}, \quad (97)$$

где P_1 — мощность, подведенная к машине и измеренная ваттметрами.

Метод измерения отдаваемого тепла. Для определения к. п. д. не обязательно знать каждый вид потерь в отдельности, а достаточно знать сумму потерь. Ее можно определить способом, который основан на том, что все потери в машине превращаются в тепло, излучаемое поверхностью машины, отдаваемое охлаждающему воздуху и уносимое нагретым маслом из подшипников при смазке под давлением.

Этот способ применяется, главным образом, для определения к. п. д. турбогенераторов, так как в них можно достаточно точно произвести указанные измерения.

Как определяют потери, уносимые воздухом, было описано выше; потери на излучение у турбогенераторов составляют, примерно, 3% потерь, уносимых воздухом. Количество тепла, уносимое маслом, определяется по формуле:

$$P = c Q (t_2 - t_1), \quad (98)$$

где: P — количество тепла, уносимое маслом в одну секунду (в кило-ваттах),

Q — количество масла, протекающее через подшипники за одну секунду (в килограммах),

c — удельная теплоемкость масла ($c = 1.8$),

t_2 — температура выходящего масла,

t_1 — температура входящего масла.

Количество масла, протекающего через подшипники в одну секунду, определяется с помощью масломера, вставленного на выходе масла, причем измерение ведется так: отмечают показания масломера каждые 15 минут и делят количество прошедшего по масломеру масла на число секунд.

Температура масла на входе и выходе определяется по термопарам или термометрам, опущенным в струю масла, для чего в маслопроводе должны быть специальные пробки.

Для определения к. п. д. нужно, чтобы машина была нагружена любым из описанных выше способов, работала до установившейся температуры. В этом режиме при установившейся температуре должно быть произведено 5—6 измерений потерь по воздуху и маслу, причем берут средние значения. Полные потери будут равны сумме потерь, отводимых воздухом, маслом и излучением. По известным потерям не трудно определить коэффициент полезного действия по формуле (12).

Подобным же способом могут быть измерены потери для любого режима работы машины.

Определение потерь методом выбега. Метод этот довольно сложен. Достаточно подготовленный читатель может познакомиться с ним в „Электротехнических правилах и нормах“, стр. 103 (часть II, 1933 г.).

Опыт ставится так: машину пускают двигателем, доводят до номинальной скорости, выключают и затем через каждые 5—15 секунд, в зависимости от продолжительности выбега, отмечают время и скорость вращения до полной остановки, по записи строят так называемые кривые выбега, показанные на рис. 142.

Обычно снимают несколько кривых выбега: возбужденной машины, не возбужденной, в режиме к. з. для определения потерь в каждом из

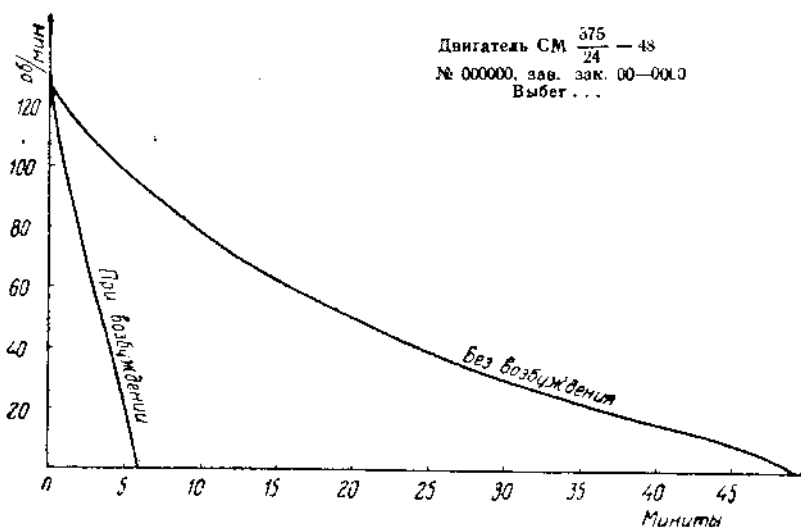


Рис. 142. Кривые выбега.

перечисленных режимов. Следует иметь в виду, что определение потерь по кривым выбега возможно только в том случае, если известен так называемый маховой момент ротора.

§ 11. АСИНХРОННЫЙ ПУСК.

Асинхронный пуск входит в программу испытаний синхронных машин, имеющих пусковую обмотку для асинхронного пуска. Эта обмотка показана на рис. 143 и представляет собой беличье колесо наподобие имеющихся на короткозамкнутых роторах асинхронных двигателей.

При этом способе пуска синхронная машина пускается как асинхронный двигатель, причем пусковая клетка и обмотка возбуждения играют ту же роль, что и обмотка ротора асинхронного двигателя.

Для ограничения тока статора во время пуска, обмотка статора включается в сеть не непосредственно, а через индуктивные сопротивления („реакторы“) или через специальный автотрансформатор (обычно по так называемой схеме Корндорфера).

Для увеличения вращающего момента при пуске, а также для предотвращения появления высокого напряжения на кольцах ротора,

обмотка возбуждения в начальный период пуска замыкается на специальное сопротивление, часто называемое „разрядным“. Величина разрядного сопротивления обычно в 5—10 раз больше сопротивления обмотки возбуждения.

На рисунках 144, 145 показаны схемы включения для асинхронного пуска с реакторами и автотрансформатором. В обоих случаях для обмотки возбуждения чаще применяется схема включения, приведенная на рис. 144. Однако, иногда удобнее применять несколько измененную схему, показанную на рис. 145, так как при этом не требуется специального переключателя.

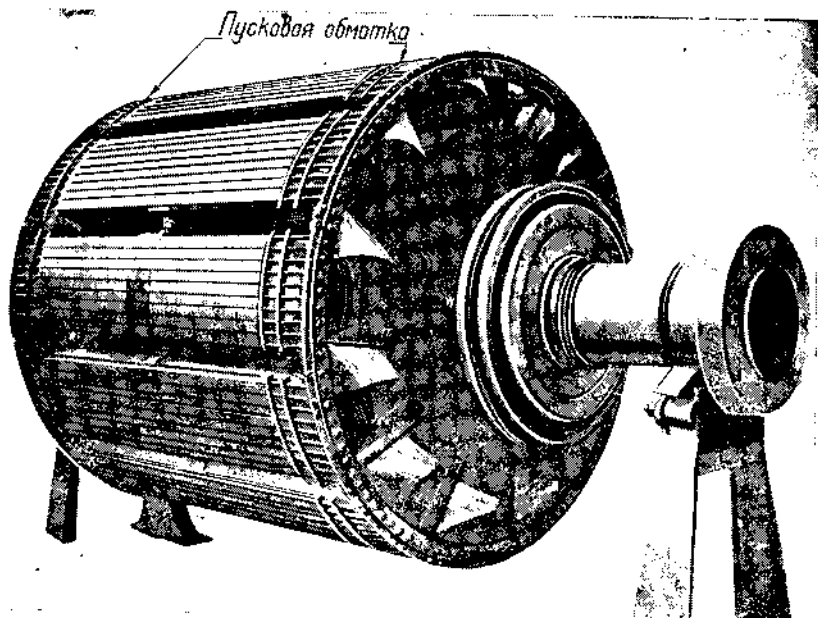


Рис. 143. Короткозамкнутая пусковая обмотка на роторе синхронной машины для асинхронного пуска.

Пуск по схеме рис. 144. Реакторы схемы рис. 144 подбираются так, чтобы в них при включении якоря машины в сеть поглощалось от 20% до 40% напряжения сети. Порядок пуска следующий: при помощи специального переключателя *I* (переключение происходит без разрыва цепи ротора) обмотка возбуждения замыкается на разрядное сопротивление. Включается масляный выключатель *I*; машина разворачивается и доходит до синхронной скорости, после чего переключателем *I* обмотка возбуждения присоединяется к возбудителю. Шунтовым регулятором поднимается напряжение возбудителя и, следовательно, возбуждается индуктор синхронной машины (желательно давать возбуждение, соответствующее наименьшему току статора при номинальном напряжении); затем включается масляный выключатель *II*, шунтирующий реакторы, и машина оказывается под полным напряжением сети.

Выключение производится выключением масляного выключателя *I*. Масляные выключатели *I* и *II* должны быть блокированы так, чтобы включение выключателя *I* было бы невозможно при замкнутом выключателе *II*.

Машины, от которых требуется значительный пусковой момент, пускаются так. Обмотка возбуждения, как и в первом случае, включена на разрядное сопротивление; включается выключатель *I*; когда

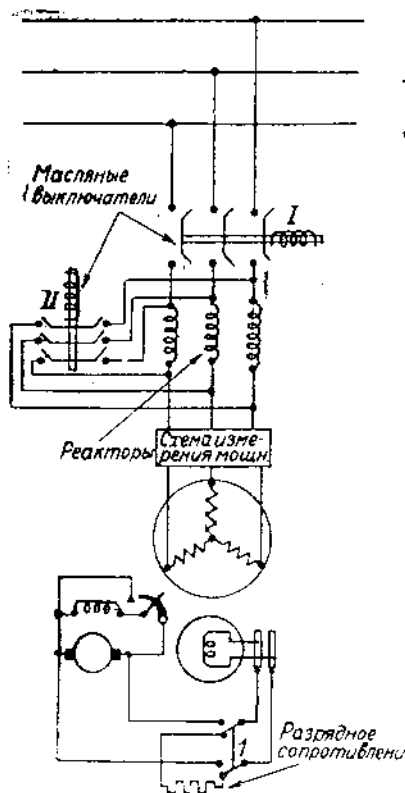


Рис. 144. Схема асинхронного пуска через реакторы.

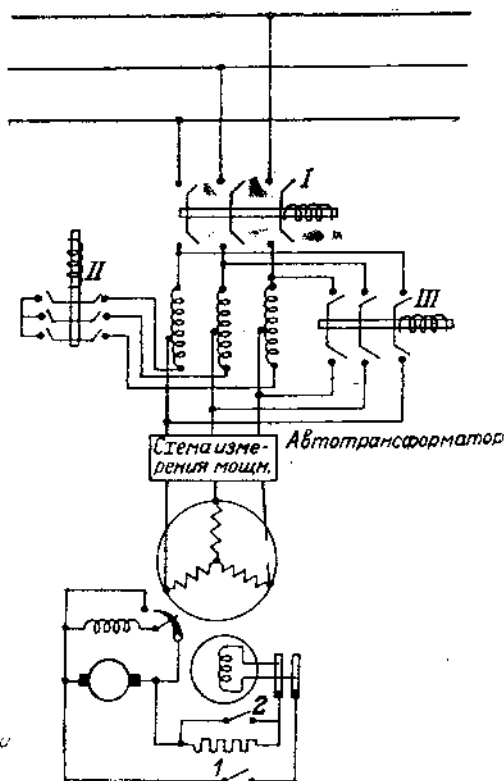


Рис. 145. Схема асинхронного пуска через автотрансформатор.

машина достигла наибольшей скорости, включается выключатель *II* (что вызывает вторичный толчок тока в обмотке якоря), машина еще несколько увеличит скорость до синхронной, и после этого ее нужно возбудить, как было описано выше.

Пуск по схеме рис. 145. Автотрансформаторы подбираются так, чтобы якорь синхронной машины при пуске находился под напряжением, равным 40—60% номинального напряжения машины. Порядок пуска таков: рубильник 2 разомкнут, рубильник 1 замкнут, выключатель *II* замкнут, соединяя этим фазы автотрансформатора в звезду. Выключатели *III* и *I* разомкнуты. Включается выключатель *I*, машина разворачивается до максимальной скорости, замыкают рубильник 2, возбуждают возбудитель и индуктор — машина входит в синхронизм,

выключается масляник II, и после этого включается масляник III, который шунтирует фазы автотрансформатора, и машина оказывается под полным напряжением. Машины, которые должны иметь большой пусковой момент, включаются, как и раньше, на пониженное напряжение, затем на полное и после этого возбуждаются.

Масляники должны быть так заблокированы, чтобы была исключена возможность включения масляника III, когда включен масляник II, так как в противном случае это создало бы короткое замыкание сети.

На рис. 144 и 145 не показаны измерительные приборы. Токовые обмотки этих приборов (амперметров и ваттметров) должны шунтироваться специальными рубильниками, так как при пуске происходят значительные толчки тока.

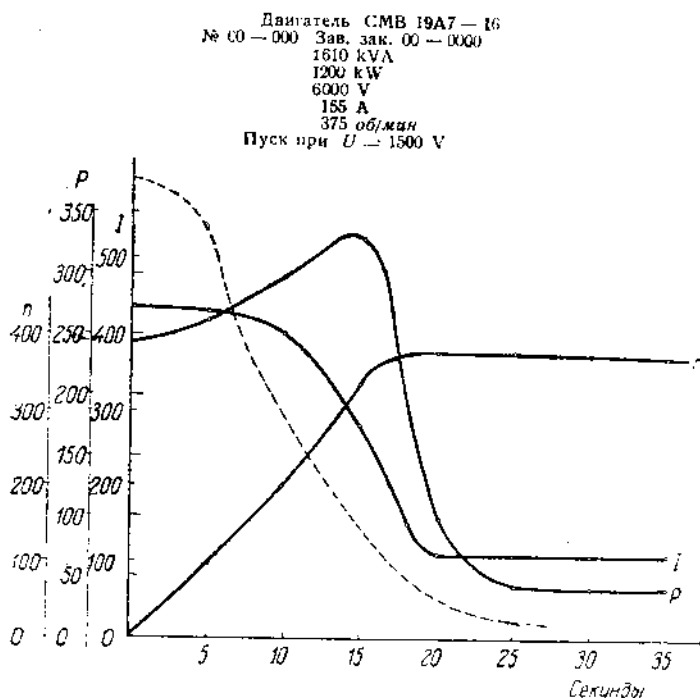


Рис. 146. Пусковые характеристики.

Пунктиром показана кривая вращающего момента (кривая приближительная).

Пусковые характеристики. Пусковые характеристики представляют собой зависимость вращающего момента, тока статора, потребляемой мощности и скорости вращения от времени (или от скорости вращения) при пуске и служат для проверки того, что момент при всех скоростях достаточен для разворачивания машины до номинальной скорости, а ток не превышает заданных значений. Необходимость такой проверки ясна из того, что встречаются машины, которые, достигнув некоторой скорости, меньшей, чем номинальная, перестают увеличивать скорость, потому что вращающий момент у них при этой скорости очень мал (в кривой момента образуется провал). На рис. 146 показаны нормальные пусковые характеристики (кривая момента — пунктир).

Опыт для получения пусковой характеристики может быть проведен двояко: способом торможения и способом замеров при пуске.

Метод торможения применяется для мелких и средних машин, где время пуска непродолжительно и второй метод мало применим. Второй метод хорош для крупных машин, у которых время пуска велико, а метод торможения неприменим из-за большой мощности торможения.

1. Метод замеров при пуске. Ставится следующим образом: машину пускают асинхронным пуском по нормальной схеме (рис. 144, 145). В цепи машины имеется полная схема измерения мощности с приборами, приблизительно рассчитанными на пусковой ток. На каждом приборе производит отсчет один человек, перед началом каждый участник опыта снабжается бланком с проставленными номерами отсчетов.

Один участник опыта снабжается секундомером и подает команду для отсчета (сам никаких записей не производит). По его команде включают масляник и производят отсчеты. Команда подается через каждые 5 секунд. По первой команде включается масляник, по второй и последующим производится отсчет. Участник, замешкавшийся на каком-либо отсчете, должен пропустить его, чтобы не запутаться в остальных. Желательно иметь два комплекта ваттметров и амперметров для взаимного (последующего) контроля. Наблюдатели должны быть опытные. Необходимо правильно уловить первый отсчет. Записи с бланков переписываются в один общий бланк. По этим записям строят кривые пускового тока, мощности, скорости и вращающего момента. Вращающий момент определяется так же, как это было описано для асинхронных машин (см. главу VI, § 9).

2. Метод торможения. Синхронная машина, включенная по схеме асинхронного пуска, работает двигателем и вращает нагрузочный генератор постоянного тока. В цепи синхронной машины имеется полная схема измерения мощности; в цепи нагрузочного генератора — амперметр и вольтметр.

При работе испытуемой машины вхолостую (невозбужденный генератор постоянного тока) записывают показания приборов и скорость вращения. Затем дают нагрузку так, чтобы скорость упала на 5% и записывают показания приборов (в том числе тахометра), увеличивают нагрузку так, чтобы скорость упала еще на 5%, и повторяют запись. Таким путем снимают точки: 100%, 95%, 90%, 80%, 70% и т. д. номинальной скорости до полной остановки.

Опыт должен проводиться быстро, так как пусковая обмотка сильно нагревается.

В случае необходимости пуск производится при пониженном (вплоть до 30%) напряжении, результаты в дальнейшем пересчитывают на нормальное напряжение.

По записи строят кривые тока, потребляемой мощности и вращающего момента в зависимости от скорости вращения.

Полученные кривые дают возможность не только судить о том, что нет провалов в кривой вращающего момента, но и определить нагрузку, с которой может развернуться синхронный двигатель. Для этого надо иметь кривую зависимости от скорости, вращающего момента той машины, которую должен приводить испытуемый двигатель. Если при любой скорости вращающий момент двигателя больше мо-

мента, потребного для вращения приводимой машины, то это означает, что двигатель развернется при асинхронном запуске с заданной нагрузкой. (Однако, это не означает, что подобный запуск допустим, так как нагрев пусковой обмотки может превзойти допускаемые пределы; выяснение последнего обстоятельства требует довольно сложных вычислений, и мы на них останавливаться не будем.)

Определение пускового тока производится по кривой тока, полученной из опыта пуска (см., например, рис. 146).

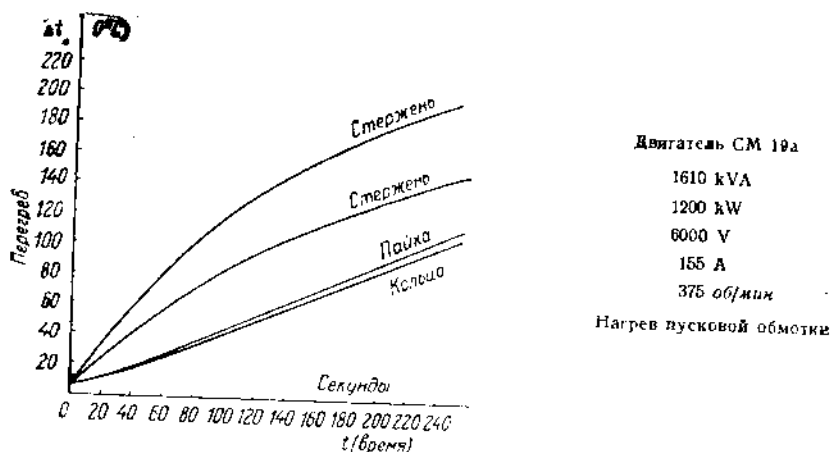


Рис. 147. Кривые нагрева пусковой обмотки при асинхронном пуске.

Нагрев пусковой обмотки производился при $U = 1450$ V (на зажимах статора), $I = 158$ A, статор сопряжен в звезду.

Ротор замкнут на 10-кратное сопротивление.
 $P = 100$ kW.

Определение нагрева пусковой обмотки. Эта проверка затруднительна, точных и практически широко применимых методов не существует. Обычно этот опыт ставится так: ротор машины тормозят, на

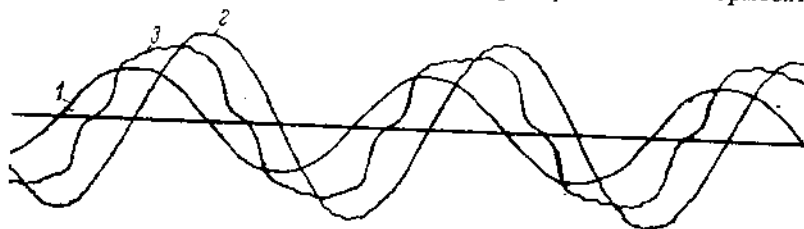


Рис. 148. Осциллограммы: фазного напряжения (кривая 1), линейного напряжения (кривая 2), поля (кривая 3).

1 — осциллограмма фазного напряжения,
 2 — осциллограмма линейного напряжения,
 3 — осциллограмма поля.

стержнях, кольцах и спаях пусковой обмотки укрепляют термонары. Термонар не должно быть много (больше 6), так как время опыта непродолжительно. Машину включают на пусковое напряжение и про-

изводят запись температур одну за другой возможно быстро (наиболее желательно — одновременно, что, однако, требует не нескольких милливольтметров). Температура первоначально растет быстро, затем медленнее. Запись производится в течение времени, потребного на пуск (которое известно из опыта асинхронного пуска). По записи строят кривые нагрева, как показано на рис. 147. Полученная к концу опыта температура есть максимальная возможная при асинхронном пуске. В действительности, при пуске температура значительно ниже, так как с увеличением скорости количество выделяющегося тепла резко уменьшается, а вентилирующее действие увеличивается. Если температура пусковой обмотки при описанном выше испытании поднимется не выше предельной, то при пуске подавно будет меньше.

§ 12. СНИЯТИЕ ОСЦИЛЛОГРАММ.

При испытании синхронной машины снимается ряд осциллограмм.

1. Осциллограмма линейного напряжения снимается при холостом ходе по схеме рис. 149, при номинальном напряжении. У хорошей машины должна иметь вид правильной синусоиды [см., например, рис. 148, кривая (2)].

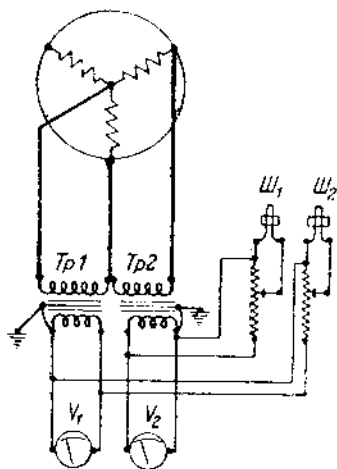


Рис. 149. Схема для снятия осциллограммы фазного и линейного напряжения.

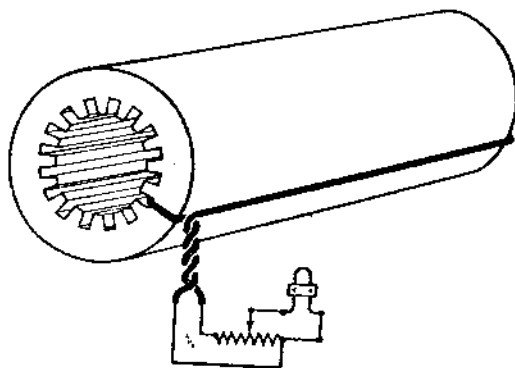


Рис. 150. Расположение витка для снятия осциллограммы поля.

2. Осциллограмма фазного напряжения снимается одновременно со снятием линейного напряжения по схеме рис. 149 и имеет вид, показанный на рис. 148, кривая (1).

3. Осциллограмма поля снимается следующим путем. В межжелезное пространство синхронной машины протягивается тонкий провод 0,75—1,5 мм² и притягивается в нескольких местах к железу статора крепкой бечевкой, пропущенной в радиальные каналы. Провод должен быть натянут и лежать на середине зуба. Концы его продеваются между лобовыми соединениями и также должны плотно прилегать к нажимным плитам. Один конец проходит вдоль спинки железа до другого конца, здесь они оба скручиваются вместе, через какое-либо отверстие (люк, отверстие для болта) выпускаются наружу и соединяются со шлейфом осциллографа. Этот виток и схема соединений показаны на рис. 150. Провод должен быть обязательно изолированный,

$Ш_1$ — шлейф напряжения статора,
 $Ш_2$ — шлейф тока статора,
 $Ш_3$ — шлейф тока ротора,
 V, A_1, A_2 — приборы для снятия масштабов.

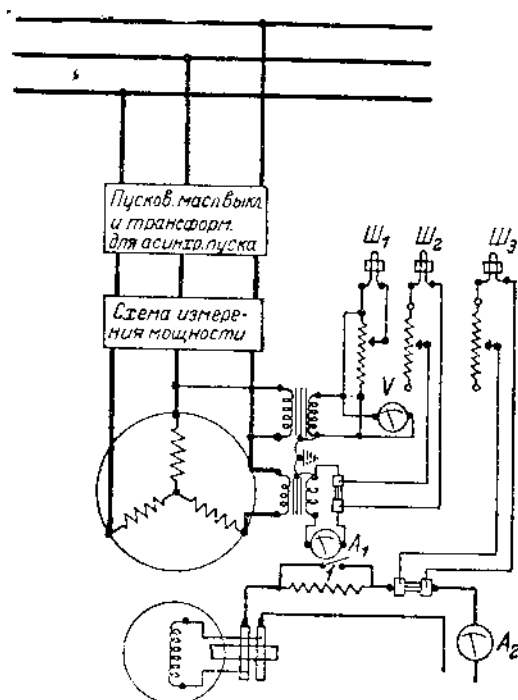


Рис. 151. Схема для снятия осциллограммы асинхронного пуска.

Рубильник (I) замыкают, когда машина достигла синхронной скорости, шунтируя этим разрядное сопротивление, и после этого возбуждают синхронную машину.

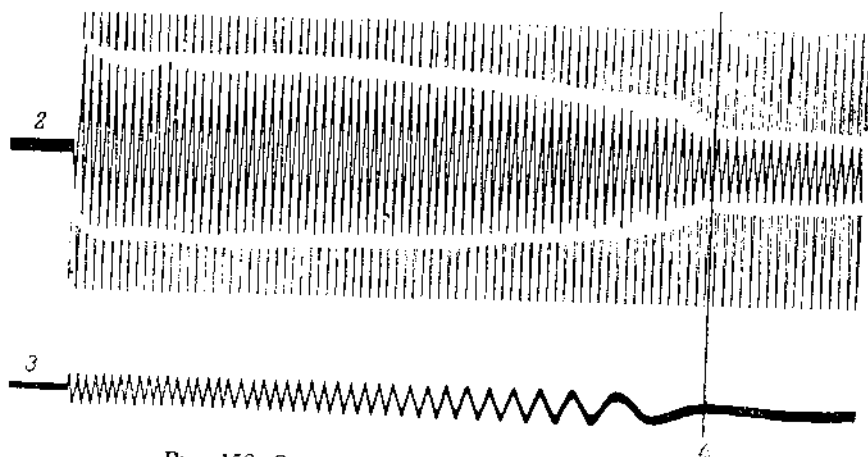


Рис. 152. Осциллограмма асинхронного пуска.

Кривая 1 — напряжение, приложенное к статору, кривая 2 — пусковой ток, кривая 3 — индуцированный в роторе ток, линия 4 — момент впадения в синхронизм.

так как в железе статора между его концами имеется напряжение до 300 вольт и голый провод вызовет замыкание и выгорание зубцов активного железа. Одновременно провод должен быть тщательно изолирован от обмотки.

Осциллограмма снимается при номинальной скорости вращения и номинальном напряжении. Соответствующая кривая показана на рис. 148, кривая 3 (совмещена с кривыми фазного и линейного напряжения).

4. Осциллограмма внезапного к. з. Снятие этой осциллограммы описано в опыте внезапного короткого замыкания.

5. Осциллограмма асинхронного пуска снимается при схеме соединений, как показано на рис. 151. Очень желательно заблокировать пусковой масляник и осциллограф так, чтобы оба включались одним движением. В крайнем случае необходимо делать это одновременным включением. Снятие осциллограммы пуска значительно упрощает проведение опыта пуска и получение пусковых характеристик.

Осциллограммы пуска показаны на рис. 152. Кривая 1 — напряжение, приложенное к статору. Кривая 2 — пусковой ток. Как видим, пусковой ток вначале мало изменяется; когда скорость приближается к синхронной, ток быстро уменьшается. Момент впадения в синхронизм показан линией 4. На осциллограмме ясно виден сдвиг фаз между током и напряжением; ток достигает максимума значительно позже, чем напряжение. Такой значительный сдвиг (малый $\cos \varphi$) объясняется тем, что при пуске машина обладает большим индуктивным сопротивлением.

Кривая 3 — индуктированный ток в роторе. Из осциллограммы видно, что его частота уменьшается с течением времени (по мере возрастания скорости вращения) и при синхронизме равна нулю.

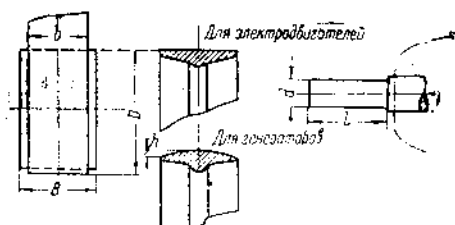
ТАБЛИЦЫ.

Таблица 1.

Наибольшие допускаемые погрешности измерительных приборов.

Класс приборов Приборы	I класс		II класс	III класс
	подкласс „Л“	подкласс „К“	класс „Т“	класс „У“
Проценты				
Вольтметры магнитоэлектрические	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
Вольтметры других систем	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 2,0$	$\pm 4,0$
Амперметры магнитоэлектрические	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
Амперметры других систем	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$	$\pm 2,0$	$\pm 4,0$
Ваттметры	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 2,0$	—

Шкивы и конец вала для



Размеры нормальных шкивов мм					Ширина ремня для норм. шкивов в мм	Размеры мини- мальных шки- вов с натяжным роликом		Ширина ремней для миним. шкивов в мм
Диаметр D		Ширина B				Диаметр D мм	Ширина B мм	
Номиналь- ный размер	Допускае- мое откло- нение	Номиналь- ный размер	Допускае- мое откло- нение	(h) ¹⁾				
50	± 1	40	— 2	(1)	30	—	—	—
63	± 1	50	— 2	(1)	40	50	50	40
80	± 1	50	— 2	(1)	40	63	50	40
100	± 2	60	— 2	(1)	50	80	50	40
125	± 2	60	— 2	(1)	50	100	60	50
125	± 2	100	— 4	(2)	85	100	85	70
160	± 2	100	— 4	(2)	85	125	100	85
200	± 2	125	— 4	(2)	100	160	100	85
225	± 3	125	— 4	(2)	100	200	125	100
250	± 3	150	— 4	(2)	125	225	125	100
280	± 3	175	— 6	(2,5)	150	250	150	125
320	± 3	200	— 6	(2,5)	175	280	175	150
360	± 3	225	— 6	(2,5)	200	320	200	175
400	± 3	225	— 6	(2,5)	200	360	225	200
450	± 3	250	— 8	(2,5)	225	400	225	200
500	± 3	300	— 8	(3)	275	450	250	225
560	± 4	350 ²⁾	— 8	(3)	300	500	300	275
710	± 4	350 ³⁾	— 8	3)	300	560	350	300

¹⁾ Для электродвигателей шкив изготавливается выпуклым, если скорость на выпуклости может отклоняться от номинального на $\pm 0,5$ мм.

²⁾ Моторы на 3000 об/мин со шкивами в нормальном исполнении не изгото-

³⁾ Шкивы с шириной обода $B \geq 350$ мм изготавливаются с двумя рядами спиц.

* Для данных, отмеченных звездочкой, шкивы стальные.

да 2.

электрических машин.

Размеры конца пальца мм		Число оборотов в минуту					
		3000 ²⁾	1500	1000	750	600	500
d	l	Мощность kW					
10	25		0,1				
14	30		0,25	0,1			
16	40		0,52	0,25			
20	50		1,0	0,52			
25	60		1,75	1,0			
28	60		2,85	1,75	1,0		
32	70		4,5	2,85	1,75		
35	80		6,8	4,5	2,85		
38	80		10,0	6,8	4,5		
40	90		14,5	10,0	6,8		
45	100		20,5	14,5	10,0		
50	110		29,0	20,5	14,5		
60	130		40,0	29,0	20,5		
65	140		55,0	40,0	29,0		
70	150		75,0*	55,0	40,0	29,0	
80	160		100,0*	75,0	55,0	40,0	
85	160		132,0*	100,0	75,0	55,0	
90	180			132,0*	100,0	75,0	55,0

обороте $v > \text{м/сек}$ или если выпуклость шкива особо оговорена в заказе. Размер вляются.

Таблица 3.
Наибольшие допустимые диаметры шкивов.

Скорость вращения об/мин	1 500	1 000	750	600	500	428	375	300
Наибольший допустимый диаметр шкива в мм	360	560	710	900	1 120	1 250	1 400	1 800
Окружная скорость в м/сек	28,3	29,3	27,9	28,3	29,3	28,0	27,5	28,3

Примечание. Для стальных шкивов допускаются большие диаметры.

Таблица 4 (по Геркенсу).

Величина β в зависимости от окружной скорости (v) и диаметра шкива D .

v м/сек D мм	Для обычных ремней				Для двойных ремней			
	15	20	25	30	15	20	25	30
200	5,5	6,0	6,5	7,5	—	—	—	—
300	7,0	7,5	8,0	8,5	8	9	10	10
400	8	9	9,5	10	10	11	11,5	12
500	9	10	10,5	11	12	13	13	13,5
600	10	11	12	12,5	13	15	15	16
750	11	12	12,5	13	15	17,5	17,5	18,5
1 000	12	13	13,5	14	19	20	21	22
1 000	13	13,5	14	14,5	21	23	25	26

Таблица 5.

Допускаемые длительные нагрузки на провода в амперах.

Сечение кв. мм	Медные	Алюминиевые	Сечение кв. мм	Медные	Алюминиевые
1	11	8	95	240	190
1,5	14	11	120	280	220
2,5	20	16	150	325	255
4,0	25	20	185	380	
6,0	31	24	240	450	
10,0	43	25	310	540	
16,0	75	60	400	640	
25	100	80	500	760	
35	125	100	625	880	
50	160	125	800	1 050	
70	200	155	1 000	1 250	

Таблица 6.

Нагрузки электрическим током алюминиевых и медных шин.

1. Настоящая таблица распространяется на шины, находящиеся в закрытых помещениях при креплении шин на ребро. Шины должны быть покрыты эмалевой черной матовой краской № 169 „Лакокраски“.

Размер в мм	Площадь поперечного сечения мм ²	Допустимая нагрузка в амперах			
		Алюминиевые шины		Медные шины	
		Постоянный ток	Переменный ток	Постоянный ток	Переменный ток
25 × 3	75	255	252	331	330
40 × 4	160	440	438	575	572
40 × 8	320	609	606	796	788
60 × 8	480	923	905	1208	1172
80 × 10	800	1349	1310	1760	1670
100 × 10	1000	1654	1590	2160	2015

2. Максимальная температура нагрева шин принята равной 75°С при температуре окружающей среды 35°С и скорости воздуха, обтекающего шины, $v = 0$.

Таблица 7.

Допускаемые нагрузки проводов марки ПРГН в соединениях внутри электрических машин.

Сечение меди провода мм ²	При продолжительной нагрузке		При кратковременной нагрузке	
	В электрических машинах		В электрических машинах	
	открытого типа и вентилят. ампер не более 1)	закрытых и вентилят. ампер не более 2)	открытого типа и вентилят. ампер не более 1)	закрытых и вентилят. ампер не более 2)
2,5	26	23	39	39
4,0	40	33	60	46
6,0	58	47	87	68
10,0	84	67	140	110
16,0	120	100	220	170
25,0	160	140	320	255
35,0	200	175	430	330
50,0	250	230	580	410
95,0	310	270	750	620
105,0	370	315	960	790
120,0	420	360	1450	910
150,0	470	406	1500	1110
185,0	527	450	1600	1300
240,0	610	520	1850	1600
310,0	710	600	2400	
400,0	825	700	2920	

1) Повышение температуры провода над температурой окружающей среды в этих случаях около 30°С.

2) Повышение температуры провода над температурой окружающей среды в этих случаях около 20°С.

Нагрузки, указанные в настоящей таблице, следует применять во всех соединениях внутри электрических машин, взамен установленных нормами ЦЭСа для проводов с резиновой изоляцией.

Таб
Допускаемые нагрузки

Шаг витка	Тип фарфорового изолятора	Диаметры проволоки в мм						
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	
1 мм	PZ 11 150 витков	Ω	169	74,7	43,3	27,7	19,4	Удель
		I_{∂}	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	
		I_{κ}	1,3	2,0	2,6	3,3	3,9	
		g	3,2	7,21	12,8	20,2	29,0	
2 мм	PZ 12 82 витка	Ω	58,5	33,2	21,3	14,8	10,9	
		I_{∂}	0,92	1,2	1,5	1,8	2,3	
		I_{κ}	2,4	3,1	3,9	4,7	5,5	
		g	60,6	10,7	16,9	24,5	33,6	
3 мм	PZ 13 60 витков	Ω	15,1	10,5	7,8	6,0		
		I_{∂}	1,8	2,2	2,5	2,9		
		I_{κ}	4,6	5,5	6,5	7,4		
		g	12,0	17,3	23,7	31,4		
4 мм	PZ 14 40 витков							
5 мм	PZ 15 30 витков	Длина фарфоровых цилиндров 135 мм, " " " " " " 35,3 мм, Нагрузки I_{∂} , I_{κ} указаны для реостатов воздушного Реостаты масляного охлаждения допускают I_{κ} больше в 4,5 раза,						
6 мм	PZ 16 24 витка	Ω — сопротивление проволоки одного цилиндра, I_{∂} — допустимый длительный ток, I_{κ} — допустимый кратковременный ток, g — вес проволоки в граммах на одном цилиндре.						

таб.
лица 8.
в проволочных реостатах.

с удельным сопротивлением $= 0,47 \text{ } \Omega \text{ мм}^2/\text{м}$								
0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2
ное сопротивления $0,42 \text{ } \Omega \text{ мм}^2/\text{м}$								
8,4	6,7	5,4						
2,4	2,7	3,0						
6,2	6,8	7,7						
44,0	56,0	69,6						
4,8	3,9	3,2	2,3	1,8				
3,2	3,6	3,9	4,6	5,3				
8,3	9,2	10,0	11,8	13,5				
39,6	49,2	59,8	84,5	113				
		Ω	2,0	1,5	1,1	0,78	0,65	
		I_{∂}	4,9	5,8	6,7	7,9	8,8	
		I_{κ}	12,5	14,8	17,0	20,2	22,3	
		g	38,6	54,2	73,0	107	133	
охлаждения, указанного в таблице приблизительно				Ω	0,82	0,56	0,47	
				I_{∂}	7,8	9,3	10,3	
				I_{κ}	20,0	23,8	26,4	
				g	54,2	79,5	99	
				Ω	0,44	0,36	0,3	
				I_{∂}	10,7	11,8	13,0	
				I_{κ}	27,2	30,2	33,1	
				g	59,3	74,0	89,6	

Таблица 9.

Сопротивление пускового реостата для трехфазных асинхронных двигателей в зависимости от отношения номинального напряжения ротора к номинальному току ротора.

$\frac{U_2}{I_2}$	Сопротивление реостата Ω	Допустимая сила тока (А)
0,42—0,75	$3 \times 0,734$	280—140
0,75—1,3	$3 \times 1,11$	180— 87,4
1,3 —2,4	3×2	136— 64
2,4 —4,2	$3 \times 2,89$	100— 50
4,2 —7,5	$3 \times 4,5$	76— 47

Таблица 10.

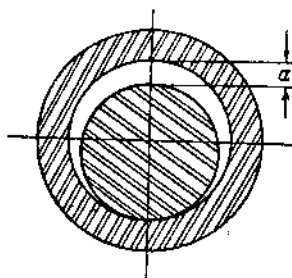
Зависимость тока возбуждения машин постоянного тока от их номинальной мощности.

Мощность машины в kW	Ток шунтовой обмотки в $\%$ от номинального тока машины
0,5— 1,0	20—10 $\%$
1,0— 2,0	10— 8 $\%$
2,0— 6,0	8 — 5 $\%$
6,0— 10,0	5— 3 $\%$
10,0— 100,0	3— 2 $\%$
100,0—1000,0	2— 1 $\%$

Таблица 11.

Зазор между шейкой вала и вкладышем подшипника

Настоящий норм-лист не распространяется на подшипники машин мощностью свыше 1000 кВт при всех оборотах и свыше 200 кВт при 3000 об/мин. В этих случаях зазор рассчитывается конструктором особо и проставляется на чертеже.



Посадка для шейки вала в подшипниковом вкладыше устанавливается в зависимости от числа оборотов.

Менее 1000 об/мин — посадка легко-ходовая — Л ОСТ 1012.

От 1000 об/мин включительно — посадка шпроко-ходовая — Ш ОСТ 1012.

Примечание. Как исключение, в случаях, требующих дополнительного приабрирования по месту вследствие неточности сборки и других дефектов, допускается увеличение зазора до нижеприведенных в таблице значений, которые проверяются щупом.

мм

Номинальный диаметр	Зазор a при посадке Л не более	Зазор a при посадке Ш не более
от 18 до 30	0,10	0,12
„ 30 „ 50	0,12	0,15
„ 50 „ 80	0,14	0,18
„ 80 „ 120	0,16	0,22
„ 120 „ 180	0,20	0,30
„ 180 „ 260	0,24	0,40
„ 260 „ 360	0,26	0,50
„ 360 „ 500	0,32	0,60

Таблица 12.

Зазор между шейкой вала и вкладышем подшипника для турбогенераторов.

Для диаметра шейки вала в мм		Сумма зазоров в горизонтальном положении в мм		Верхний зазор (в вертикальном направлении) в мм	
от	до	от	до	от	до
100	120	0,4	0,6	0,1	0,35
140	150	0,5	0,7	0,2	0,55
160	180	0,6	0,9	0,2	0,55
180	250	0,7	1,2	0,2	0,55
260	500	0,8	1,4	0,3	0,7

Примечание. а) Для измерения бокового (горизонтального) зазора необходимо снять верхнюю половину вкладыша и измерить щупом зазор с обеих сторон между вкладышем и шейкой вала; общий зазор не должен превышать вышеозначенных данных. Для измерения верхнего зазора (вертикального) надо между шейкой ротора и верхней половиной вкладыша положить одномиллиметровую свинцовую проволоку и плотно затянуть крепежные болты последнего; толщина снятой свинцовой проволоки не должна превышать вышеозначенных размеров.

б) Максимальный односторонний разбег, исходя из среднего положения ротора, не должен быть более 4 мм при нормальной работе генератора. При набегании ротора на один из подшипников необходимо выяснить и установить причину и осмотреть баббитовую заливку внутренней торцевой стороны вкладыша. Сработка баббитовой заливки в крайнем случае допускается не более 3 мм. При большей сработке необходимо наплавить или перезалить подшипник. Таким образом наибольший односторонний разбег в крайнем случае может быть не более 7 мм.

Таблица 13.

Омические сопротивления обмоток статоров некоторых турбогенераторов модернизированной серии завода „Электросила“.

Т и п	Мощность kW/kVA	Напряжение V	Сила тока A	Сопротивле- ние обмотки статора per unit
T— 265/50	750/937,5	3 150	172	0,0102
T— 285/50	1 000/1 250	525	1 380	0,0063
T— 275/60	1 500/1 875	6 300	172	0,00683
T— 290/70	2 500/3 125	3 150	576	0,00447
T—2120/70	4 000/5 000	6 300	458	0,00367
T—2140/80	6 000/7 500	6 300	688	0,00293
T—2210/87	12 000/15 000	6 300	1 370	0,00189
T—2270/98	24 000/30 000	6 300	2 750	0,00185
T—4376/142	50 000/55 500	10 500	3 050	0,00203

Примечание 1. Сопротивление per unit определено по омическому сопротивлению, приведенному к 75° С по следующей формуле:

$$r_{\text{per unit}} = \frac{r_{\text{ом 75}} \sqrt{3} I_n}{U_n}$$

где: U_n — линейное напряжение,

I_n — линейный ток.

Примечание 2. Возможные отклонения $\pm 6\%$.

Таблица 14.

Физические и электрические свойства шток завода "Электроугли" ВЭТ.

Группа	М а р к а		Твердость по Шору	Удельное электриче- ское сопро- тивление $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	Контактное переходное падение на- пряжения V	Допускае- мая плот- ность тока A/cm ²	Коэффициент трения	Допускае- мая линей- ная скорость m/sec	Удельное нажатие g/cm ²
	Стандарт ВЭТ № 1	Старая марка завода "Электро- угли"							
Угольно- графитные	T1	—	50—70	40—60	Очень высокое	4,5	Высокий	10	240—320
	T2	T	40—55	40—60	Высокое	5	Высокий	12	240—320
	Г1	A	35—50	30—45	Высокое	6	Высокий	15	200—240
Графитные	Г2	A2	30—45	24—35	Высокое	8	Средний	20	160—240
	Г3	B—B2	25—37	10—22	Высокое	10	Средний	25	120—200
	Г4	BC	10—18	10—20	Среднее	12	Низкий	30	120—160
	M1	M4	30—42	2—12	Среднее	14	Средний	15	160—200
Графитно- медные	M3	M1	28—36	6—16	Среднее	12	Средний	20	160—200

Группа	Марка		Твердость по Шору	Удельное электрическое сопротивление $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	Контактное переходное падение напряжения V	Допускаемая плотность тока A/cm^2	Коэффициент трения	Допускаемая линейная скорость m/sec	Удельное напряжение g/cm^2
	Стандарт ВЭГ № 1	Старая марка завода "Электроугли"							
Медно-графитные	МГ	МГ	6—12	0,05—0,10	Низкое	25	Средний	20	120—150
	МГ1	МГ1	5—7	0,10—0,25	Низкое	22	Низкий	20	120—150
	МГ2	МГ2	4—6	0,20—0,40	Низкое	22	Низкий	25	120—150
	МГ3	МГ3	3—5	0,30—0,45	Низкое	20	Низкий	25	120—150
Бронзо-графитные	БГ	—	5—10	0,20—0,30	Низкое	30	Средний	—	150—200

Примечание 1. В этой таблице контактные падения напряжений означают:

низкое до 0,6 V
 среднее $0,6 + 1,2 \text{ V}$
 высокое $1,2 + 1,7 \text{ V}$
 очень высокое 1,7 V и более

Эти цифры характеризуют общее падение напряжения под двумя щетками (+ и —) при нормальной для данной щетки плотности тока.

Примечание 2. Коэффициенты трения имеют значения:

низкие меньше 0,25
 средний 0,25—0,40
 высокий более 0,40

Таблица 15.

СССР Народный комиссариат тяжелой промышленности	Общесоюзный стандарт	ОСТ 7341
		НКТП 443
	Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором от 0,6 до 100 кВт	Энергипром

Настоящий стандарт распространяется на асинхронные трехфазные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, предназначенные для продолжительной работы без регулировки числа оборотов и питаемых от сети 50 Hz.

А. Классификация

1. По типу короткозамкнутой обмотки ротора, настоящий стандарт распространяется на электродвигатели с короткозамкнутой обмоткой любого типа.

В. Технические условия

10. Номинальный коэффициент полезного действия (к. п. д.) и номинальный коэффициент мощности ($\cos \varphi$) при полной нагрузке и при номинальном напряжении должны соответствовать величинам согласно таблице 2.

Таблица 2

Мощность кВт	Коэффициент полезного действия в % при числе об/мин			Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) при числе об/мин		
	1 500	100	750	1 500	1 000	150
0,63	77,0	75,2	—	0,777	0,726	—
0,8	78,0	76,7	—	0,788	0,735	—
1,0	79,2	78,0	—	0,80	0,745	—
1,25	80,4	79,1	—	0,812	0,755	—
1,6	81,8	80,5	—	0,828	0,77	—
2,0	83,0	81,8	—	0,84	0,785	—
2,5	84,0	82,8	—	0,848	0,795	—
3,2	84,8	83,8	—	0,853	0,202	—
4	85,5	84,5	82,5	0,858	0,807	0,78
5	86,1	85,1	83,2	0,863	0,812	0,795
6,3	86,4	85,5	83,8	0,867	0,818	0,805
8	86,7	85,8	84,4	0,868	0,823	0,81
10	87,1	86,2	85	0,87	0,826	0,82
12,5	87,5	86,6	85,5	0,872	0,83	0,825
16	88,0	87,2	86,2	0,874	0,835	0,833
20	88,6	87,8	87	0,877	0,84	0,84
25	89,1	88,3	87,6	0,88	0,846	0,845
32	89,6	89	88,3	0,885	0,853	0,852
40	90,0	89,6	89	0,89	0,86	0,858
50	90,4	90,1	89,7	0,896	0,868	0,862
63	90,6	90,5	90,2	0,90	0,875	0,865
80	90,8	90,8	90,7	0,90	0,88	0,87
100	91,0	91,0	91,0	0,90	0,88	0,87

Примечание 1. Значение к. п. д. и коэффициента мощности ($\cos \varphi$) для промежуточных величин мощности с между двумя ступенями a и b определяется по следующей формуле:

$$\eta_c = \eta_a + \frac{c-a}{b-a} (\eta_b - \eta_a)$$

$$\cos \varphi_c = \cos \varphi_a + \frac{c-a}{b-a} (\cos \varphi_b - \cos \varphi_a),$$

где: a обозначает величину промежуточной мощности,
 b " " меньшей ступени мощности,
" " большей "
 η_a, η_b, η_c обозначают соответствующие коэффициенты полезного дей-
ствия,
 $\cos \varphi_a, \cos \varphi_b, \cos \varphi_c$ — соответствующие значения коэффициента мощ-
ности.

11. Отклонения для к, п, д, от номинального значения, определенного по таблице 2, допустимы согласно ОСТ 3887, раздел А, § 20. То же для коэффициента мощности ($\cos \varphi$) согласно формуле:

$$\frac{1 - \cos \varphi}{6}$$

с точностью до 0,01.

Таблица 16.

В. Технические условия.

12. Пусковые характеристики. Отношение пускового тока ($I_{\text{п}}$) к номинальному току ($I_{\text{н}}$) при номинальном напряжении и при рабочем соединении обмотки, а также отношение пускового момента ($M_{\text{п}}$) к номинальному ($M_{\text{н}}$) и отношение максимального момента ($M_{\text{м}}$) к номинальному ($M_{\text{н}}$) не должно превосходить значений, установленных в нижеследующей таблице 3.

Таблица 3.

При мощности	Синхронное число оборотов в минуту								
	1500			1000			750		
	I_{II}	M_{II}	M_{III}	I_{II}	M_{II}	M_{III}	I_{II}	M_{II}	M_{III}
До 5 kW	6,5	1,5	1,8	6,0	1,5	1,8	6,0	1,1	1,6
От 5 до 50 kW .	6,5	1,4	1,8	6,0	1,3	1,8	5,5	1,1	1,6
От 50 до 100 kW .	6,0	1,1	1,8	6,0	1,1	1,8	5,5	1,1	1,6

Примечание 1. Электродвигатели с отступающими от таблицы 3 настоящего стандарта характеристиками могут быть изготовлены заводом по особой договоренности с заказчиком.

Примечание 2. Практически полученные при испытании электродвигателей пусковые характеристики могут отклоняться от установленных настоящей таблицей значений в пределах согласно ГОСТ 3888, раздел В, а именно: отношение пускового тока к номинальному ($I_{\text{п}}: I_{\text{н}}$) — превышать не более 200% , отношения пускового момента к номинальному ($M_{\text{п}}: M_{\text{н}}$) и максимального к номинальному ($M_{\text{м}}: M_{\text{н}}$) могут быть ниже, но не более как на 100% .

Таблица 17.

Соприжение фаз и число выводов турбогенераторов модернизированной серии.

Т и п	Напряжение в вольтах	Схематическое изображе- ние сопряжений фаз ста- торных обмоток	Число выводов
265/50	$\frac{230}{400}$		$\frac{4}{4}$
	525		3
	3150		3
285/50	$\frac{230}{400}$		$\frac{4}{4}$
	525		3
	$\frac{3150}{6300}$		$\frac{6}{6}$
275/60	400		4
	525		3
	$\frac{3150}{6300}$		$\frac{6}{6}$
290/70	400		4
	525		3
	$\frac{3150}{6300}$		$\frac{6}{6}$
2120/70	$\frac{3150}{6300}$		$\frac{6}{6}$
2140/80	$\frac{3150}{6300}$		$\frac{6}{6}$
2210/87	$\frac{6300}{10500}$		$\frac{6}{6}$
2270/98	$\frac{6300}{10500}$		$\frac{6}{6}$
4376/142	10500		12

В турбогенераторах новой серии 1933 года типов Т-6-2, Т-12-2, Т-25-2, Т-50-2, а также в типах Т- $\frac{4376}{142}$ и ТА- $\frac{290}{70}$ сопряжение фаз — звезда.

Исключение составляет лишь нестандартное и нереконструируемое исполнение турбогенераторов Т- $\frac{4376}{142}$ и Т-50-2 на 6300 В, при котором сопряжение фаз — треугольник.

Число выводов всех турбогенераторов типов Т-6-2, Т-12-2, Т-25-2, а также типа ТА- $\frac{290}{70}$ — шесть; типы Т- $\frac{4376}{142}$ и Т-50-2 при однообмоточном исполнении имеют двенадцать выводов.

До последнего времени при шести выводах буквами *UVW* обозначались начала I, II и III фаз; концы этих фаз соответственно обозначались: *XYZ*.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

СССР Всесоюзный комитет стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ 3889
	Электрические машины. Нагрев электрических машин. Испытание машин	Электро- техника

Нагрев частей электрических машин при продолжительной и при повторно кратковременной работе характеризуется превышением температуры, т. е. разностью температур между температурой частей нагретой машины и температурой охлаждающей среды. При кратковременной же работе нагрев характеризуется разностью температур частей машины в конце и в начале работы.

Примечание. Ввиду того, что измерение температуры наиболее нагретых точек машины практически почти невозможно, в настоящий стандарт введено понятие о „наибольшей наблюдаемой температуре“.

Значение наибольшей наблюдаемой температуры может получиться различным при разных методах измерения. Поэтому ниже в таблице наибольших наблюдаемых температур и превышений температуры указывается метод измерения.

Значение превышения температуры отдельных частей машины устанавливается по „наибольшей наблюдаемой температуре“ и стандартной температуре охлаждающей среды.

Стандартная температура охлаждающей среды устанавливается в 35°C для воздуха и в 25°C для воды.

А. Наибольшие наблюдаемые температуры и наибольшие превышения температуры частей машин.

Наибольшие наблюдаемые температуры и наибольшие превышения температуры частей машины для различных классов изолирующих материалов не должны превосходить значений, приведенных ниже в таблице.

Значения температур этой таблицы относятся к машинам, устанавливаемым на высоте не выше 1000 м над уровнем моря.

Для машин, предназначенных для установки на больших высотах и в помещениях, имеющих температуру более 35°C , должны быть даны особые условия, с указанием наибольших наблюдаемых температур и наибольших превышений температуры частей машины.

Наибольшие наблюдаемые температуры и наибольшие превышения температуры частей машины:

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Госплане СССР 20/XI 1931 г. как обязательный с 1/II 1932 г.

Номер по порядку	Класс изоляции	Наименование частей машины или род обмотки	Наибольшая наблюдаемая температура в градусах Цельсия	Наибольшее превышение температуры в градусах Цельсия	Метод измерения
1	Класс „О“ (см. раздел Б настоящего стандарта)	Все обмотки на вращающихся и неподвижных частях машины, за исключением указанных ниже в пп. 5, 6 и 7 этой таблицы	80°	45°	Методы сопротивления с проверкой по методу термометра
2	Класс „А“ (см. раздел Б)	Все обмотки на вращающихся и неподвижных частях машины, за исключением указанных ниже в пп. 5, 6 и 7 этой таблицы	95°	60°	
3	Класс „В“ (см. раздел Б)	Все обмотки на вращающихся и неподвижных частях машины, за исключением указанных ниже в пп. 5, 6 и 7 этой таблицы	115°	80°	
4	Класс „С“ (см. раздел Б)	Все обмотки на вращающихся и неподвижных частях машины, за исключением указанных ниже в пп. 5, 6 и 7 этой таблицы	Ограничены таким нагревом, при котором температура средних частей, а также превышение температуры не превосходит допускаемых для этих частей пределов		
5	Классы „О“, „А“ и „В“ (см. раздел Б)	Изолированные, постоянно замкнутые накоротко обмотки. Обмотки, не позволяющие измерять сопротивление без нарушения целостности обмотки	На 5° выше, чем указанные в пп. 1, 2 и 3 этой таблицы		Метод термометра
6	Без изоляции	Постоянно замкнутые накоротко обмотки	Как в п. 4 этой таблицы		
7	Все классы	Однорядные обмотки возбуждения с голой неизолированной поверхностью	На 5° выше, чем указанные в пп. 1, 2 и 3 этой таблицы		Как в пп. 1—4 этой таблицы

Номер по порядку	Класс изоляции	Наименование частей машины или род обмотки	Наибольшая наблюдаемая температура в градусах Цельсия	Наибольшее превышение температуры в градусах Цельсия	Метод измерения
8	Все классы	Листовая сталь, не соприкасающаяся с обмотками	Как в п. 4 этой таблицы		Метод термометра
9	—	Листовая сталь с уложенными в ней обмотками	Как в пп. 1, 2, 3 и 4 этой таблицы		
10	—	Коллектор и контактные кольца	95°	60°	
11	—	Подшипники	80°	45°	
12	—	Все другие части	Как в п. 8 этой таблицы		

Примечание 1. Для одпорядных обмоток возбуждения турбогенераторов в случае применения изоляции класса «В» допускается увеличение указанных в п. 3 этой таблицы величин наибольшей наблюдаемой температуры, а также наибольшего превышения температуры, на 10° С.

Примечание 2. Для турбогенераторов мощностью в 5000 kVA и выше применяются вместе с методом сопротивлений, с проверкой по методу термометра (пп. 1, 2, 3, 4 и 7 таблицы), метод заложенных температурных детекторов. Этот же метод должен применяться к статорам всех остальных типов машин переменного тока, если мощность их равна или превосходит 5000 kVA, или если длина статора равна или более 100 см, независимо от мощности машин.

В случае измерения температур методом заложенного детектора величина наблюдаемых температур и наибольших превышений температуры увеличиваются на 5° С сверх приведенных в этой таблице.

В машинах с номинальным напряжением более 7000 В с однослойной обмоткой, в которой температурный детектор располагается между изоляцией и стенкой паза, устанавливается понижение предельной допускаемой температуры на 1,5° С на каждые 1000 В свыше 7000 В.

Примечание 3. Наибольшие превышения температуры, приведенные в таблице и в примечаниях к ней, могут быть превзойдены только в тех случаях, когда имеется уверенность в том, что температура охлаждающей среды всегда будет ниже стандартной температуры.

В этом случае максимальное значение температуры охлаждающей среды должно быть непременно оговорено в технических условиях заказа и указано на шитке машины.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Госплане СССР 20/XI 1931 г. как обязательный с 1/II 1932 г.

Примечание 4. Турбогенераторы мощностью от 6000 kVA и выше снабжаются щитками, на которых указываются мощности машины при температурах охлаждающей среды в 35° и 25° С.

Турбогенератор может быть нагружен до номинальной мощности, соответствующей температуре охлаждающей среды в 25° С только в том случае, если температура охлаждающей среды равна или меньше 25° С.

При температурах охлаждающей среды в пределах от 25° С до 35° С за номинальную мощность турбогенератора принимается мощность, соответствующая температуре охлаждающей среды в 35° С.

Примечание 5. В закрытых машинах при применении специальных смазочных средств допускается увеличение температуры подшипников на 10° С сверх норм, указанных в п. 11 таблицы.

Б. Классификация изолирующих материалов.

Все изолирующие материалы, применяемые в электрических машинах, в отношении допускаемых для них наибольших температур нагрева разделяются на следующие четыре класса:

а) Класс „О“. Непропитанные и непогруженные в масло волокнистые материалы, както: хлопчатобумажные пряжа и ткань, натуральный шелк, бумага и тому подобные органические вещества.

Примечание. Изолирующие материалы класса „О“ в электрических машинах применять не рекомендуется.

б) Класс „А“. Пропитанные или погруженные в масло волокнистые материалы, както: хлопчатобумажные пряжа и ткань, натуральный шелк, бумага и т. п. органические вещества, а также эмаль. — служащие для покрытия проводников.

Примечание. Хлопчатобумажная, бумажная и шелковая изоляция считается „пропитанной“, если пропитывающее вещество вытесняет собою воздух между отдельными волокнами, причем это вещество не обязательно должно заполнять собою промежутки между изолированными проводниками.

Пропитывающее вещество не должно разжижаться под влиянием допустимых предельных температур; оно должно быть термостойким и должно обладать хорошими изолирующими свойствами.

в) Класс „В“. Препараты из слюды, асбеста и т. п. материалов минерального происхождения со связующими веществами.

Примечание. Если совместно с изоляционным материалом класса „В“ с целью крепления применяется в небольшом количестве изоляционный материал класса „А“, то подобная комбинированная изоляция может быть отнесена к классу „В“ в том случае, если электрические и механические свойства обмотки с этой изоляцией не ухудшаются из-за действия более высокой температуры, допускаемой для материалов класса „В“. (Здесь под словом „ухудшение“ следует понимать, что не будут иметь места никакие изменения, которые могут сделать изоляцию непригодной для длительной работы.)

г) Класс „С“. Слюда без связующих материалов, фарфор, стекло, кварц и другие подобные материалы.

Примечание. Если для изоляции различных частей обмотки (как то: утопленных во впадинах и лобовых) применены разные материалы, то предельная допустимая температура для каждой из частей обмотки определяется примененной для этой части изоляцией.

Если изоляция, примененная для какой-либо части машины, состоит из чередующихся слоев изолирующих материалов разных классов (например, чередующихся слоев материалов класса „А“ и класса „В“), то предельно допустимой для такой части температурой является та температура, которая соответствует материалу с наименьшей предельной температурой.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Госплане СССР 20/XI 1931 г. как обязательный с 1/II 1932 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. Введение.	Стр.
Предисловие редактора	3
Предисловие автора	4
1. Паспорт машины	5
2. Коэффициент мощности	7
3. Коэффициент полезного действия (к. п. д.) и потери	10
4. Нагрев	13
5. Вращающий момент	14
6. Понятие о характеристиках	15
Глава II. Приборы и измерения.	
1. Обращение с приборами	18
2. Принципы работы	19
3. Погрешности приборов	21
4. Пределы измерений	23
5. Измерение напряжения	23
6. Измерение тока	25
7. Милливольт-амперметры	28
8. Гальванометр	28
9. Измерение мощности постоянного тока	28
10. Измерение мощности однофазного тока	29
11. Измерение мощности трехфазного тока	33
12. Потери в приборах	40
13. Измерение сопротивления	41
14. Измерение сопротивления изоляции	46
15. Измерение температур	49
16. Измерение частоты	56
17. Измерение времени	58
18. Измерение скорости вращения	58
19. Вентиляционные измерения и аппаратура	60
Глава III. Подготовка машины к испытаниям.	
1. Установка машины	69
2. Подбор шкивов и ремней	75
3. Сшивка ремней	77
4. Правила сборки схемы	78
5. Расположение элементов схемы	79
6. Подбор элементов схемы	81
7. Закладка термопар	88
8. Подготовка к испытаниям вентиляции	90
Глава IV. Предварительные испытания.	
1. Программа предварительных испытаний	92
2. Осмотр	92
3. Продувка и очистка	96
4. Проверка эксцентрисичностей и зазоров	96

5. Измерение сопротивления обмоток	97
6. Измерение сопротивления изоляции	101
7. Проверка обмоток	103
8. Подготовка коллектора, колец и щеточного хозяйства	108
9. Установка щеток на нейтраль	114
10. Сушка	117
11. Пробный пуск	121
12. Неисправности в машине при пробном пуске	126
13. Испытание повышенной скоростью вращения	129
14. Испытание электрической прочности изоляции (на пробой)	133

Глава V. Испытания машин постоянного тока.

1. Программа испытаний	138
2. Опыт холостого хода	139
3. Опыт короткого замыкания	146
4. Проверка коммутации	149
5. Искрение и его устранение	153
6. Опыт нагрузки	165
7. Способы нагрузки	171
8. Определение коэффициента полезного действия (к. п. д.)	174
9. Тепловое испытание	175

Глава VI. Испытания асинхронных машин.

1. Общие сведения	179
2. Программа испытаний	180
3. Схема включения	181
4. Особенности питания	181
5. Опыт холостого хода	184
6. Опыт короткого замыкания	187
7. Скольжение	189
8. Способы нагрузки	193
9. Опыт нагрузки	194
10. Тепловое испытание	202

Глава VII. Испытания синхронных машин.

1. Программа испытаний	204
2. Опыт холостого хода	205
3. Опыт короткого замыкания	210
4. Внезапное короткое замыкание	212
5. Способы нагрузки	217
6. Пуск и включение в сеть	220
7. Опыт нагрузки	222
8. Тепловое испытание (нагрев)	225
9. Вентиляционные испытания	226
10. Определение к. п. д.	228
11. Асинхронный пуск	231
12. Снятие осциллограмм	237

