

НАРОДНЫЙ КОМИССАРИАТ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СОЮЗА ССР
ОТДЕЛ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ИНСТРУКЦИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СРЕДНЕВЗВЕШЕННОГО КОЭФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПРОМПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ОТСУТСТВИИ СЧЕТЧИКОВ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ

(Одобрено Техническим отделом НКЭС)

Республиканская
научно-техническая библиотека
Атрымана ў дар ад У.К. СЕР-
ГІЕНКО, В. А. СРЕТІСОВА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА — 1943 — ЛЕНИНГРАД

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Назначение и область применения инструкции (§ 1)	3
II. Определение и общие положения (§ 2—5)	3
III. Определение коэффициента мощности (§ 6—47)	4
А. Общая методика измерений (§ 6—21)	4
1. Способы включения измерительных приборов (§ 6—9)	4
2. Правила включения ваттметров (§ 10—11)	6
3. Проверка правильности схемы методом построения векторной диаграммы (§ 12—13)	8
4. Собственное потребление приборов (§ 14—15)	10
5. Определение постоянных ваттметра (§ 16—18)	10
6. Определение величины замеренной мощности (§ 19—21)	11
Б. Методы измерения коэффициента мощности (§ 22—47)	12
1. Метод непосредственного измерения коэффициента мощности отсчетом по фазометру (§ 22—23)	12
2. Методы косвенного определения коэффициента мощности (на соотношений активной и реактивной или активной и кажущихся мощностей) (§ 24—43)	14
а) Метод двух ваттметров (схема Арона) (§ 25—30)	14
б) Метод одного ваттметра (§ 31—36)	16
в) Метод одного ваттметра с переключателем напряжения (§ 37—38)	18
г) Метод одного ваттметра, включенного на геометрическую разность токов (§ 39)	20
д) Метод однофазного счетчика активной энергии (§ 40—42)	20
е) Метод парных счетчиков, включенных по схеме Арона (§ 43)	22
3. Упрощенные методы определения коэффициента мощности (§ 44—47)	23
а) Определение коэффициента мощности по отношению отклонений двух однофазных ваттметров (§ 44—45)	23
б) Определение коэффициента мощности по показаниям двух однофазных счетчиков (§ 46)	24
4. Сравнительная таблица методов измерения коэффициента мощности (§ 47)	24
IV. Определение средневзвешенного коэффициента мощности (§ 48—55)	25
V. Определение естественного коэффициента мощности промышленных предприятий при наличии на них искусственной компенсации коэффициента мощности (§ 56—59)	28
А. Компенсация $\cos \varphi$ при помощи батарей статических конденсаторов (§ 57)	28
Б. Компенсация $\cos \varphi$ при помощи синхронного компенсатора (§ 58)	30
В. Компенсация $\cos \varphi$ при помощи синхронных и асинхронных синхронизированных электродвигателей (§ 59)	31

Редактор инж. А. Л. Фаерман
Редактор издательства П. Ф. Вобер

Объем 2 н. л. Уч. автор. л. 3
Подписано к печати 11/XI—1948 г.
Л74176 Заказ 646

Тираж. 10.000 экз.

172

I. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

ИНСТРУКЦИИ

§ 1. Настоящая инструкция содержит технические требования и способы производства замеров, а также методы определения средневзвешенного коэффициента мощности ($\cos \varphi_{ср}$)¹ промышленных предприятий при отсутствии счетчиков реактивной энергии.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

§ 2. Как известно, средневзвешенный коэффициент мощности наиболее просто и точно определяется из соотношения реактивной и активной мощности:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_p}{P_a},$$

где P_a — активная мощность;
 P_p — реактивная мощность.

По известному значению $\operatorname{tg} \varphi$ определяется величина $\cos \varphi$.

При расчетах за электроэнергию с промышленными предприятиями средневзвешенный коэффициент мощности определяется из отношения показаний (за определенный отрезок времени) счетчиков реактивной и активной энергии.

При отсутствии счетчиков реактивной энергии значение средневзвешенного коэффициента мощности определяется методами, являющимися предметом настоящей инструкции.

§ 3. Определение средневзвешенного коэффициента мощности состоит из следующих двух этапов:

а) измерения значения активной мощности и коэффициента мощности потребителя в определенный момент за сравнительно небольшой отрезок времени, в течение которого нагрузка имеет постоянную величину;

б) определения средневзвешенного коэффициента мощности $\cos \varphi_{ср}$ на основании отдельных значений коэффициента мощности и соответствующих им значений активной мощности, определенных по п. „а“.

§ 4. Коэффициент мощности трехфазной сети переменного тока вычисляется из формулы

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi,$$

откуда

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}.$$

¹ В дальнейшем в тексте средневзвешенный коэффициент мощности обозначается $\cos \varphi_{ср}$.

Таким образом для определения коэффициента мощности необходимо измерить активную мощность P , ток I и напряжение U .

Примечание. При синусоидальной форме кривых тока и напряжения угол φ , вычисленный по этому уравнению, совпадает с действительным фазным углом сдвига между кривой тока и напряжения. При несинусоидальной форме кривых или при неравномерной нагрузке трехфазной сети $\cos \varphi$ означает только численный коэффициент — коэффициент мощности.

Кроме косвенного определения коэффициента мощности по вышеприведенной формуле коэффициент мощности может быть замерен и непосредственным отсчетом при помощи фазометра.

§ 5. Средневзвешенный коэффициент мощности есть средняя величина $\cos \varphi$ за определенный отрезок времени (смена, сутки, месяц).

Математически средневзвешенный коэффициент мощности предприятия, цеха или отдельного потребителя энергии есть не что иное, как отношение суммы произведений значений коэффициента мощности на соответствующее этому моменту значение активной мощности $\sum P \cdot \cos \varphi$ к сумме соответствующих значений активной мощности ($\sum P$), т. е.

$$\cos \varphi_{cp} = \frac{\sum_1^n P \cdot \cos \varphi}{\sum_1^n P},$$

где

$$\sum_1^n P \cdot \cos \varphi = P_1 \cos \varphi_1 + P_2 \cos \varphi_2 + \dots + P_n \cos \varphi_n,$$

$$\sum_1^n P = P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

P_1 и $\cos \varphi_1$ — значения активной мощности и коэффициента мощности в момент времени t_1 .

Различают коэффициент мощности отдельного потребителя энергии (моторного электродвигателя или группы электродвигателей), цеха завода или фабрики со всеми силовыми и осветительными установками и, наконец, коэффициент мощности всего промышленного предприятия (завода, фабрики) со всеми его потребителями. Для определения коэффициента мощности отдельного потребителя цеха или предприятия в формулу § 4 необходимо в каждом конкретном случае подставлять значение потребляемой отдельным потребителем, цехом или предприятием активной мощности P и соответствующие этому значению мощности величины тока I и напряжения U .

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

А. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

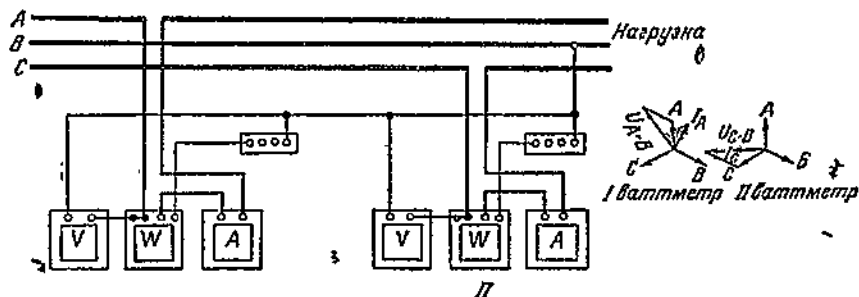
1. Способы включения измерительных приборов

§ 6. Включение измерительных приборов для измерения коэффициента мощности можно осуществлять тремя способами:

а) непосредственное включение (фиг. 1);

б) полукосвенное включение — через трансформаторы тока (фиг. 2);
 в) косвенное включение — через трансформаторы тока и напряжения (фиг. 3).

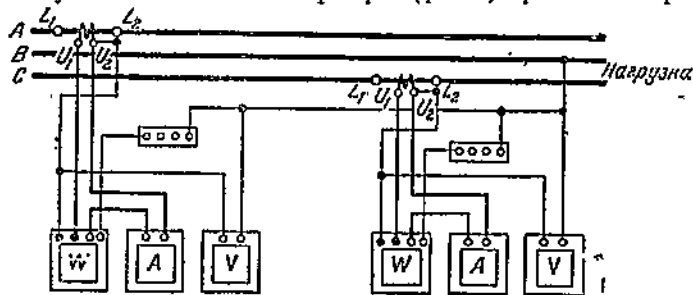
В дальнейшем в тексте для сокращения включения измерительных приборов через трансформаторы тока будет именоваться «полукосвенным» включением, а включение через трансформаторы тока и напряжения — «косвенным» включением.



Фиг. 1. Метод двух ваттметров (схема Арона). Непосредственное включение.

§ 7. При непосредственном включении измерительные приборы включены непосредственно в цепь тока и напряжения (фиг. 1). Для таких измерений применяют обычно электродинамические прецизионные приборы лабораторного типа. При помощи этих приборов измерения могут производиться до токов 50—100 а. В нормальных конструкциях имеются добавочные сопротивления к ваттметрам лабораторного типа до 6000 в. Однако при измерениях выше 1000 в непосредственное включение не рекомендуется вследствие опасностей, связанных с случайным прикосновением к прибору, находящемуся под высоким напряжением.

§ 8. Полукосвенное включение приборов (фиг. 2) применяется при сред-

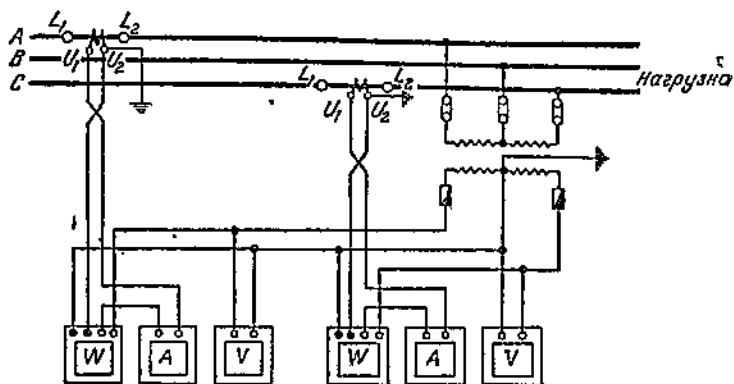


Фиг. 2. Метод двух ваттметров (схема Арона). Полукосвенное включение.

них напряжений — до 600 в, при этом ток измеряется косвенным образом, через трансформаторы тока, а напряжение — непосредственно. Применение трансформаторов тока делает возможным использование приборов нормального типа и миниатюрных приборов типа Z и Б а для всех измеряемых пределов тока.

Для промышленных предприятий, работающих обычно при напряжениях до 500 в, наиболее удобным является способ полукосвенного включения измерительных приборов. При непосредственном включении обмоток напряжения измерительных приборов при напряжениях свыше 220 в между линейным проводом и землей необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе с приборами.

§ 9. Косвенное включение приборов (фиг. 3) применяется при измерениях на высоком напряжении (при напряжениях более 600 в). При этом все измерительные приборы включаются через трансформаторы тока и напряжения.



Фиг. 3. Метод двух ваттметров (схема Арона). Косвенное включение.

Косвенное включение приборов имеет то преимущество, особенно при измерениях с переносными приборами, что даст возможность пользоваться при всех измерениях одним комплектом приборов (на 5 а и 100 в). Кроме того при косвенных измерениях все измерительные приборы включены в низкое напряжение и заземлены, т. е. устранены опасность, неудобства и технические затруднения непосредственных измерений высоких напряжений.

2. Правила включения ваттметров

10. При включении в измерительные схемы ваттметров необходимо строго соблюдать следующие общие правила:

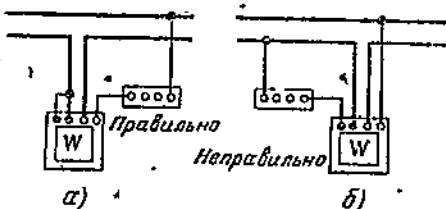
включение ваттметра должно производиться таким образом, чтобы разности потенциалов между токовой катушкой и катушкой напряжения ваттметра были по возможности наименьшими (фиг. 4, а).

В прецизионных ваттметрах наибольшая допустимая разность потенциалов между токовой катушкой и катушкой напряжения составляет примерно 100—120 в. При больших напряжениях вследствие появления электрических зарядов могут происходить отклонения стрелки приборов и вследствие этого большие погрешности в измерениях. С другой стороны, при более высоких напряжениях может произойти пробой с катушки напряжения на токовую катушку.

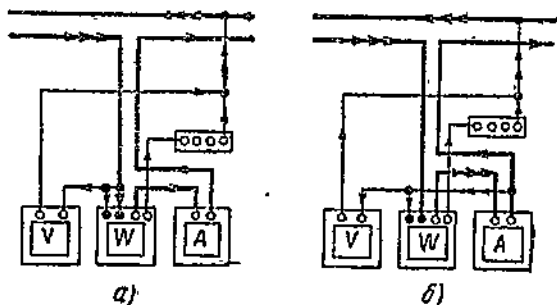
На фиг. 4 (а и б) показано правильное и неправильное включение ваттметра с точки зрения возникновения опасных напряжений между токовой

катушкой и катушкой напряжения. При непосредственном включении ваттметра в сеть соответствующим включением достигается всегда то, что разность потенциалов между токовой катушкой и катушкой напряжения делается равной нулю, или в своем наивысшем значении это напряжение равно падению напряжения в катушке напряжения, т. е. 30 в для приборов Сименса, ХЭТИ и др. Для этого цепь тока ваттметра соединяется с одной клеммой напряжения ваттметра без промежуточного включения каких-либо сопротивлений.

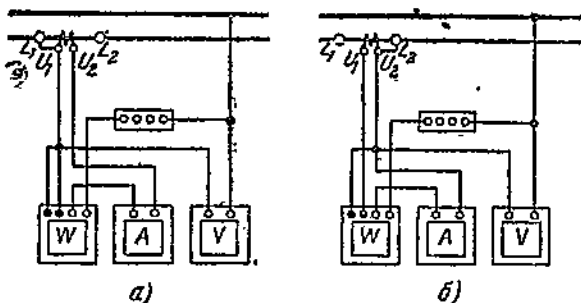
При полукосвенных измерениях для этой цели необходимо вторичную обмотку трансформаторов тока соединить с соответствующей клеммой первичной обмотки, как это показано на фиг. 6.



Фиг. 4. Правила включения ваттметров.
а — правильно; б — неправильно.



Фиг. 5. Нормальные схемы соединений для непосредственных измерений мощности.



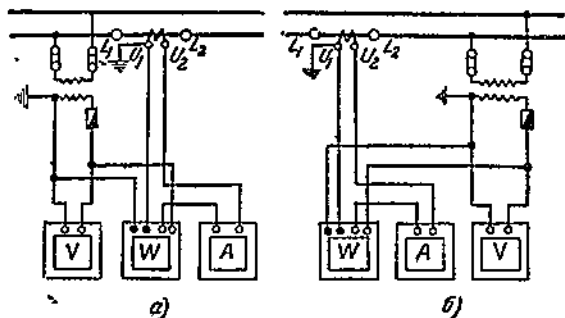
Фиг. 6. Нормальные схемы соединений для полукосвенных измерений мощности.

При косвенных измерениях с трансформаторами тока и напряжения возникающие между токовой катушкой и катушкой напряжения ваттметра разности потенциалов определяются заземляющим проводом, который соединяет между собой вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения. Максимальная разность потенциалов, могущая иметь место,

при этом равна 100—110 в, что, как указано выше, вполне допустимо. Однако при применении специального способа включения (фиг. 3 и 16) разность потенциалов равна нулю. Чтобы получить правильное отклонение стрелки по шкале, необходимо включать ваттметр с соблюдением полярности зажимов (фиг. 1а, однопольярные клеммы расположены рядом и зачернены).

Во всех ваттметрах направление отклонения стрелки зависит не от направления тока в токовой катушке и в катушке напряжения, а только от соотношения между направлениями этих токов.

Чтобы получить правильное отклонение стрелки, необходимо всегда принимать во внимание взаимную полярность обмоток обеих катушек, определяемую по обозначениям на клеммах. Однополярные клеммы обозначаются звездочкой или знаком (+) и располагаются для наглядности рядом (например, в приборах Сименса, ХЭТИ и др.).



Фиг. 7. Нормальные схемы соединений для косвенных измерений мощности.

Существует простое правило: ток должен быть подведен к однопольярным клеммам. Однополярными клеммами ваттметра называются те клеммы тока и напряжения, к которым подводятся концы от генератора. При этом получается положительное отклонение стрелки ваттметра, т. е. отклонение вправо. Во всех схемах, приведенных в настоящей инструкции, всегда предполагается, что генератор тока находится слева, а потребитель — справа. Однополярные клеммы ваттметра на всех прилагаемых схемах зачернены.

§ 11. При измерениях мощности трехфазного тока по схеме Арона при $\cos \varphi < 0,5$ стрелка одного из ваттметров будет отклоняться в обратную сторону. В этом случае необходимо переключить цепь напряжения ваттметра, для чего ваттметры (лабораторные и переносного типа) обычно снабжаются переключателями напряжения.

3. Проверка правильности схемы методом построения векторной диаграммы

§ 12. Проверка правильности схемы Арона и вообще любой ваттметровой схемы может быть произведена построением векторной диаграммы.

Векторная диаграмма строится при помощи ваттметра. Для этого необходимо предварительно определить направление вращения фаз при помощи вертушки. Вертушка представляет собой миниатюрный трехфазный асинхронный двигатель со стрелкой, указывающей направление вращения при чередовании фаз А—В—С.

После этого строятся звезда фазовых напряжений A, B, C и между-фазовых AB, BC и CA (фиг. 7а).

Снимаются показания ваттметров I и II , включенных по схеме Арона (фиг. 1). Показание ваттметра I есть не что иное, как проекция вектора тока фазы A на вектор напряжения $A-B$ (в определенном масштабе), а показание ваттметра II — проекция вектора тока фазы C на вектор напряжения $C-B$.

После этого к ваттметру I подводится напряжение $A-C$ (фаза A остается приключенной без изменения, а вместо фазы B подводится фаза C), а к ваттметру II подводится напряжение $C-A$ (фаза C остается приключенной без изменения, а вместо фазы B подводится фаза A).

Снимаются показания ваттметров при новом соединении. При этом показание ваттметра I есть проекция вектора тока A на вектор напряжения AC , а показание ваттметра II — проекция вектора тока C на вектор напряжения CA .

Оба раза напряжение следует подводить через одно и то же добавочное сопротивление, чтобы проекции векторов токов A и C (показания ваттметров) были в одном и том же масштабе. Показания ваттметров берутся с соответствующим знаком.

Откладывая проекции векторов тока A на векторы напряжений AB и AC , а проекции векторов тока C на векторы напряжений CB и CA и проводя перпендикуляры к указанным векторам напряжений, находим на пересечении этих перпендикуляров величину и направление токов A и C .

При правильно собранной схеме полученная векторная диаграмма должна иметь вид, приведенный на фиг. 1 и 7а, т. е. ток фазы A (при индуктивной нагрузке) должен отставать от своего фазового напряжения A на угол φ , а ток фазы C отставать на тот же угол φ от фазового напряжения C .

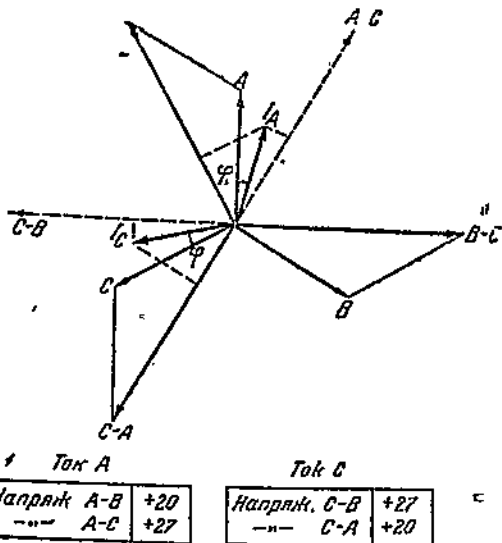
§ 18. Пример. Пусть при измерениях по схеме Арона получили:

показание ваттметра I — $+20$ делений
 ваттметра II — $+27$ делений

Подводим к ваттметру I напряжение $A-C$, а к ваттметру II — напряжение $C-A$, при этом получаем:

показание ваттметра I — $+27$ делений
 ваттметра II — $+20$ делений

На фиг. 7а откладываем в произвольном масштабе 20 делений по направлению вектора напряжения AB и 27 делений по направлению век-



Фиг. 7а. Проверка схемы Арона построением векторной диаграммы.

тора $A-C$. Восстанавливаем перпендикуляры к этим векторам и в точке пересечения их строим вектор тока I_A . Таким же способом находим вектор тока I_C . Из построения векторной диаграммы видим, что схема собрана правильно.

4. Собственное потребление приборов

§ 14. При производстве измерений необходимо оценить и в случае необходимости учесть собственное потребление энергии самими измерительными приборами.

Существует две принципиально различные схемы включения приборов, приведенные на фиг. 5 (а и б).

При включении по схеме а измеряется полный ток потребителя, измеряемое же напряжение вследствие падения напряжения в приборах, измеряющих ток (амперметр и токовая катушка ваттметра), несколько больше.

При включении по схеме б измеряется действительное напряжение на зажимах потребителя, но измеренный ток вследствие потребления тока приборами, измеряющими напряжение (вольтметр и катушка напряжения ваттметра), преувеличен. На фиг. 5 для пояснения показано токораспределение.

В обеих схемах включения измеренная мощность больше действительной на величину собственного потребления приборами.

§ 15. Для большинства встречающихся на практике случаев можно не учитывать собственное потребление энергии измерительными приборами, т. е. не вносить поправок для величины замеренной мощности, если выбрать схему соединений, дающих наименьшие погрешности.

Если все же приходится учитывать собственное потребление приборов (при особо точных измерениях, при измерениях малых мощностей), то следует выбрать схемы б (фиг. 5, 6 и 7), при которых поправочными величинами является собственное потребление вольтметра и цепи напряжения ваттметра. В этом случае поправки легко вычисляются по всегда известным нам сопротивлениям вольтметра и катушки напряжения ваттметра по формуле

$$P = \frac{U^2}{R},$$

где P — потребление прибора в ваттах;

U — напряжение на обмотке прибора (включая внешнее добавочное сопротивление);

R — омическое сопротивление обмотки прибора (включая внешнее добавочное сопротивление).

При практически постоянном напряжении поправка на собственное потребление приборов постоянна и может быть вперед вычислена.

При применении же схемы а необходимо знать сопротивление токовых катушек или их потребление, что часто бывает не известно.

5. Определение постоянных ваттметра

§ 16. Ваттметры градуируются так, что при номинальном токе, номинальном напряжении и выбранном коэффициенте мощности $\cos \varphi$ они дают полное отклонение стрелки.

Если обозначим:

I_N — номинальный ток ваттметра;

U_N — номинальное напряжение ваттметра;

$\cos \varphi$ — принятый для градуировки коэффициент мощности;

α — полное число делений шкалы ваттметра, то получим соотношение

$$I_N \cdot U_N \cdot \cos \varphi = C \cdot \alpha;$$

отсюда постоянная прибора (или цена одного деления прибора)

$$C = \frac{I_n \cdot U_n \cdot \cos \varphi}{\alpha} \text{ ватт/1}^\circ.$$

Прецизионные приборы (лабораторные и контрольные) класса 0,2 и 0,5 обычно градуируются при $\cos \varphi = 1$.

Тогда для них соответственно цена одного деления

$$C = \frac{I_n \cdot U_n}{\alpha} \text{ ватт/1}^\circ.$$

Так как пределы измерения напряжения у ваттметров могут быть расширены при помощи внешних добавочных сопротивлений, то при вычислении постоянной ваттметра для U_n необходимо подставить соответствующее значение нового расширенного предела номинального напряжения ваттметра.

Обычно значения номинального напряжения измерительного прибора и постоянные сопротивления C указываются около соответствующих клемм добавочного сопротивления.

§ 17. Постоянной сопротивления C называется число, показывающее, во сколько раз номинальное напряжение ваттметра с данным добавочным сопротивлением больше, чем у того же ваттметра без добавочного сопротивления. Если обозначим:

U_W — номинальное напряжение ваттметра без добавочного сопротивления;

$U_{доб}$ — то же с добавочным сопротивлением, то постоянная сопротивления получится

$$C_1 = \frac{U_{доб}}{U_W}.$$

Ту же постоянную C_1 можно выразить через сопротивления. Если обозначим:

R_W — сопротивление ваттметра;

$R_{доб}$ — добавочное сопротивление к ваттметру, то постоянная сопротивления

$$C_1 = \frac{R_W + R_{доб}}{R_W}.$$

§ 18. Пример. Сопротивление ваттметра $R_W = 1\,000$ ом. Номинальное напряжение 30 в. Вычислить постоянную сопротивления C_1 для предела измерения 150 в.

$$C_1 = \frac{U_{доб}}{U_W} = \frac{150}{30} = 5.$$

Какой величины должно быть добавочное сопротивление для предела измерения 150 в?

$$R_{доб} = C_1 \cdot R_W - R_W = 5 \cdot 1\,000 - 1\,000 = 4\,000 \text{ ом.}$$

6. Определение величины замеренной мощности

§ 19. При непосредственном включении приборов (фиг. 5) значение измеренной мощности определяется непосредственно по ваттметру.

$$P = C \cdot \alpha_1 \text{ ватт,}$$

где α_1 — показания ваттметра в делениях.

§ 20. При полукосвенном включении приборов с трансформаторами

тока и с добавочными сопротивлениями в цепи напряжения (фиг. 6) величина измеряемой мощности равна

$$P = k_{m.m} \cdot C \cdot \alpha_1 \text{ ватт,}$$

где $k_{m.m}$ — коэффициент трансформации трансформатора тока.

§ 21. При косвенном включении приборов с трансформаторами тока и напряжения (фиг. 7) величина измеряемой мощности равна

$$P = k_{m.m} \cdot k_{m.n} \cdot C \cdot \alpha_1 \text{ ватт,}$$

где $k_{m.m}$ — коэффициент трансформации трансформатора тока;

$k_{m.n}$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

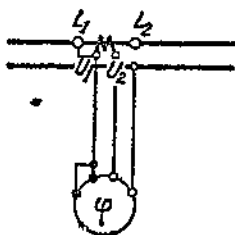
Б. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

1. Метод непосредственного измерения коэффициента мощности отсчетом по фазометру

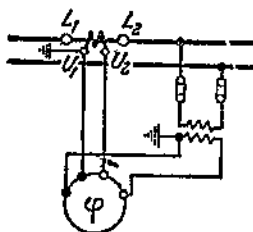
§ 22. Наиболее просто измерение коэффициента мощности производится посредством фазометров с непосредственным отсчетом.

Все изготавливаемые в настоящее время фазометры предназначены для измерения коэффициента мощности при равномерной нагрузке фаз. Лишь немногие английские и американские фирмы изготавливают фазометры для неравномерной нагрузки фаз.

Коэффициент мощности может быть измерен при помощи однофазного и трехфазного фазометров.



Фиг. 8. Измерение коэффициента мощности однофазным фазометром (полукосвенное включение).



Фиг. 9. Измерение коэффициента мощности однофазным фазометром (косвенное включение).

§ 23. Как правило, все фазометры изготавливаются на ток 5 а и напряжение 100—110 в. Некоторые фирмы, в том числе отечественный завод «Электроприбор», изготавливают трехфазные фазометры типа ЭНФ и ЭВФ на 5 а и напряжения: 120, 220, 380 и 500 в. Тип ЭНФ имеет шкалу $\cos \varphi$ от 0,2 до 1 (в индукционном квадранте), а тип ЭВФ — четырехквадрантный со шкалой 0—1—0 в каждом квадранте на два направления энергии.

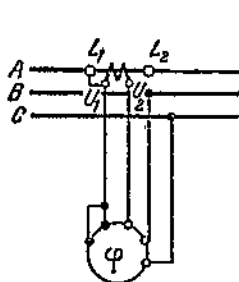
Таким образом фазометры могут включаться либо полукосвенным методом (через трансформаторы тока) при напряжениях до 500 в включительно, либо косвенным методом через трансформаторы тока и напряжения.

Для примера на фиг. 8 приведено полукосвенное включение однофазного фазометра Гартмана и Брауна, а на фиг. 9 — косвенное включение

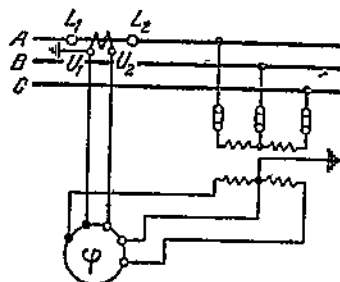
однофазного фазометра той же фирмы. Как видно из схемы, токовая катушка включена в фазу A , а катушка напряженная между фазами A и B на линейное напряжение.

Трехфазные фазометры включаются либо из ток одной фазы и два междуфазных напряжения, либо из токи двух фаз и одно междуфазное напряжение.

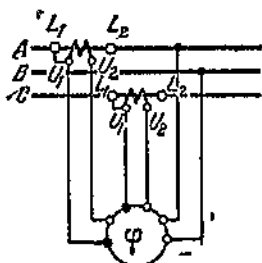
По первой схеме включение фазометра показано на фиг. 10 (полукосвенное включение) и фиг. 11 (косвенное включение). По второй схеме включение фазометра показано на фиг. 12 (полукосвенное включение) и фиг. 13 (косвенное включение). Отечественные фазометры типа ЭНФ и ЭБФ включаются по схемам фиг. 12 и 13.



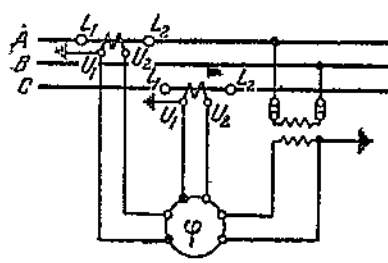
Ф и г. 10. Измерение коэффициента мощности трехфазным фазометром (полукосвенное включение).



Ф и г. 11. Измерение коэффициента мощности трехфазным фазометром (косвенное включение).



Ф и г. 12. Измерение коэффициента мощности трехфазным фазометром завода „Электроприбор“ (полукосвенное включение).



Ф и г. 13. Измерение коэффициента мощности трехфазным фазометром завода „Электроприбор“ (косвенное включение).

Примечание. Включение фазометров необходимо производить в строгом соответствии с той последовательностью чередования фаз, какая указана на схеме данного прибора, иначе показания фазометра будут неправильными.

Поэтому при всех измерениях коэффициента мощности при помощи фазометра необходимо предварительно определять последовательность чередования фаз. Последовательность чередования фаз определяется при помощи указателя вращения фаз («вертушки»).

2. Методы косвенного определения коэффициента мощности (из соотношений активной и реактивной или активной и кажущихся мощностей)

§ 24. Косвенное определение коэффициента мощности можно произвести:

а) из соотношения измерений активной и кажущейся мощностей:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot I \cdot U}$$

или б) из соотношений реактивной и активной мощностей

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_a}{P_p},$$

где P_a — активная мощность;
 P_p — реактивная мощность.

В настоящей инструкции рассматриваются главным образом схемы косвенных измерений коэффициента мощности по соотношению активной и кажущейся мощностей.

Во всех нижеприведенных схемах необходимо измерить активную мощность P_a , ток I и напряжение U .

а) Метод двух ваттметров (схема Арона)

§ 25. Метод измерения мощности двумя ваттметрами, предложенный Ароном, имеет наибольшее распространение. Согласно схеме Арона один ваттметр включается на ток фазы A и линейное напряжение $A-B$; второй ваттметр включается на ток фазы C и линейное напряжение $C-B$.

Схема Арона дает правильные показания для трехфазной системы без нулевого провода при любом треугольнике напряжений и любом роде нагрузки (равномерной и неравномерной).

§ 26. Мощность трехфазного тока, замеренная по схеме Арона, равна сумме (при $\cos \varphi > 0,5$) или разности (при $\cos \varphi < 0,5$) показаний обоих ваттметров, т. е.

$$P = C \cdot (\alpha_1 \pm \alpha_2)$$

или в общем виде алгебраической сумме показаний обоих ваттметров.

При $\cos \varphi > 0,5$ показания обоих ваттметров имеют один и тот же положительный знак. При $\cos \varphi = 0,5$ (угол $\varphi = 60^\circ$) показания одного из ваттметров равны нулю. При $\cos \varphi < 0,5$ показания одного из ваттметров имеют отрицательный знак.

В первом случае измеренная мощность

$$P = C \cdot (\alpha_1 + \alpha_2) \text{ ватт.}$$

Во втором случае измеренная мощность

$$P = C \cdot \alpha_1 \text{ ватт } (\alpha_2 = 0).$$

В третьем случае

$$P = C \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \text{ ватт.}$$

При этом предполагается, что оба ваттметра включены одинаково согласно указанным § 10.

При отклонении стрелки ваттметра влево (в обратную сторону) производится переключение цепи напряжения согласно § 11.

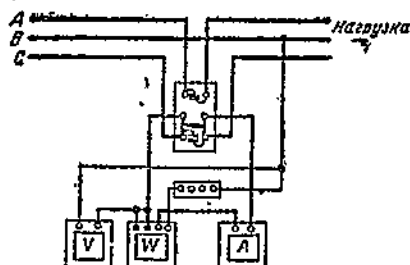
§ 27. При измерении по схеме Арона можно пользоваться:

а) двумя отдельными ваттметрами;

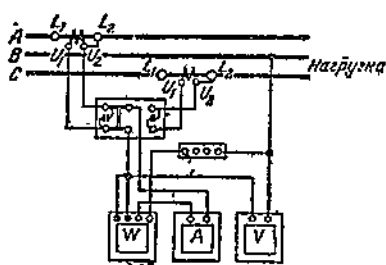
- б) одним ваттметром с переключателем;
- в) двумя ваттметрами, действующими на общий указатель.

Первый и второй способы применяются при лабораторных и контрольных измерениях, а третий применяется в счетчиках электрической энергии и питовых ваттметрах.

Здесь рассматривается схема Арона с двумя отдельными ваттметрами и одним ваттметром с переключателем.



Ф и г. 14. Метод одного ваттметра (схема Арона) с переключателем. Непосредственное включение.



Ф и г. 15. Метод одного ваттметра (схема Арона) с переключателем. Полукоосвенное включение.

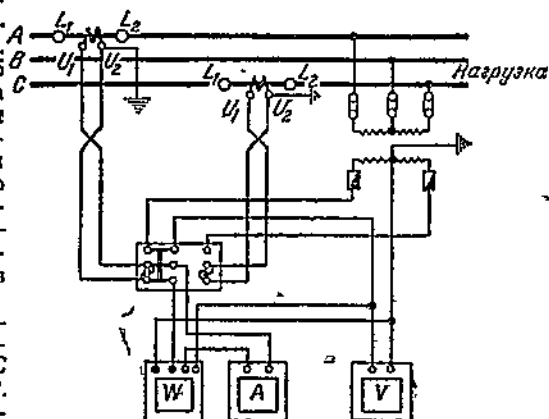
§ 28. На фиг. 1, 2 и 3 дана схема Арона измерения мощности при помощи двух однофазных ваттметров для непосредственного (фиг. 1), полукоосвенного (фиг. 2) и косвенного (фиг. 3) включения измерительных приборов.

Как видно из этих схем, одновременно измеряются токи в фазах A и C и линейные напряжения $A-B$ и $C-B$. Для симметричной нагрузки обычно ограничиваются измерениями только двух токов и двух напряжений.

§ 29. На фиг. 14, 15 и 16 дана схема Арона измерения мощности при помощи одного ваттметра с переключателем для непосредственного (фиг. 14), полукоосвенного (фиг. 15) и косвенного включения измерительных приборов (фиг. 16).

И при этой схеме кроме мощности измеряются токи в фазах A и C и напряжения AB и CB .

Переключатели, применяемые в схемах 14, 15 и 16, должны быть специальной конструкции (так называемые ваттметровые переключатели), позволяющей производить переключение без прерыва тока. В схемах непосредственного и полукоосвенного включения (фиг. 14 и 15) необходимо



Ф и г. 16. Метод одного ваттметра (схема Арона) с переключателем. Косвенное включение.

иметь двухполюсный переключатель, в схеме же косвенного включения (фиг. 16) — трехполюсный переключатель, так как при этой схеме напряжение переключается отдельным ножом переключателя.

При применении схемы с переключателями тока необходимо следить за тем, чтобы оба измерения (левое и правое положение переключателя), выполняемые в схемах с двумя ваттметрами одновременно, следовали непосредственно друг за другом. Поэтому необходимо всегда проверять при помощи контрольного измерения, не изменилась ли нагрузка за время между двумя измерениями.

§ 30. Измерение мощности по схеме Арона является наиболее точным. Практически оба способа (с одним и двумя ваттметрами) почти равноценны.

При схеме с двумя ваттметрами количество приборов больше, зато отсчеты по приборам производится одновременно и делать контрольные измерения нет надобности, в схемах с переключателем хотя приборов и меньше, но зато нужен специальный переключатель и производство контрольного измерения.

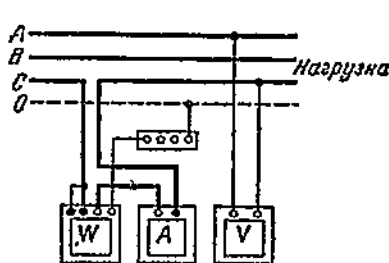
б) Метод одного ваттметра

§ 31. Как известно, мощность трехфазного тока равна сумме мощностей трех фаз. Если все три фазы нагружены равномерно, то достаточно для определения общей мощности измерить мощность только в одной фазе и полученный результат помножить на три.

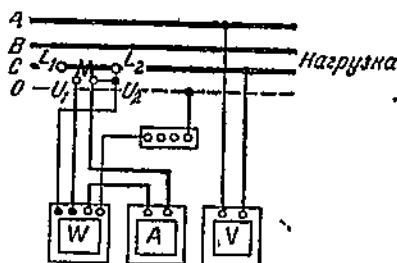
При измерении мощности переменного тока одним ваттметром могут иметь место два случая:

- а) нулевая точка трехфазной системы доступна;
- б) нулевая точка трехфазной системы недоступна.

§ 32. При доступной нулевой точке системы измерение мощности про-



Фиг. 17. Метод одного ваттметра с доступной нулевой точкой. Непосредственное включение.



Фиг. 18. Метод одного ваттметра с доступной нулевой точкой. Полу косвенное включение.

изводится по схемам фиг. 17, 18 и 19. На фиг. 17 показано непосредственное включение приборов, на фиг. 18 — полукосвенное, а на фиг. 19 — косвенное включение. Мощность трехфазного тока при этом

$$P = 3 \cdot C \cdot a_1 \text{ ватт.}$$

§ 33. При недоступной нулевой точке системы следует создать искусственную нулевую точку. Это достигается тем, что соединяют звездой три совершенно одинаковые по величине сопротивления (фиг. 20, 21 и 22).

Некоторые фирмы (Сименс и др.) выпускают к своим ваттметрам специальные сопротивления для создания искусственной нулевой точки. Так как при этом в одно из плеч звезды сопротивлений включена катушка

напряжения самого ваттметра, то это плечо имеет сопротивление R_1 :

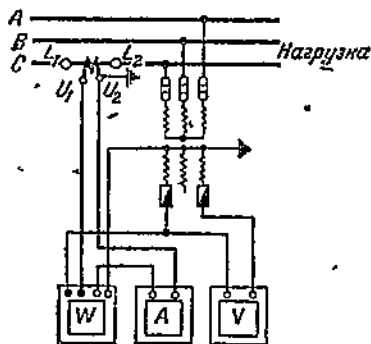
$$R_1 = R_2 - R_0 = R_3 - R_0,$$

где R_1 , R_2 и R_3 — сопротивления плеч звезды;

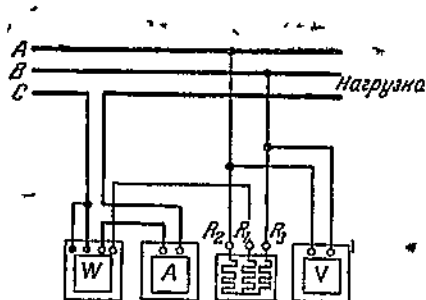
R_0 — сопротивление катушки напряжения ваттметра.

В частности для ваттметра Сименса сопротивление катушки напряжения равно 1000 ом (клемма напряжения 30 в). Ваттметры ХЭТИ (Харьковского электротехнического института) изготовляются по образцу си-менсовских и имеют сопротивление катушки напряжения и звезду сопротивлений для создания искусственной нулевой точки с такими же точно параметрами, что и силенсовские ваттметры.

На фиг. 20, 21 и 22 приведены схемы измерения мощности одним ватт-метром и искусственно созданной нулевой точкой. На фиг. 20 показано

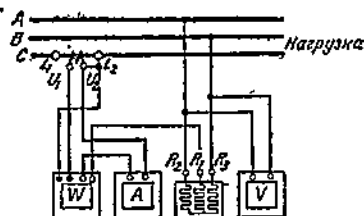


Фиг. 19. Метод одного ваттметра с доступной нулевой точкой. Косвенное включение.

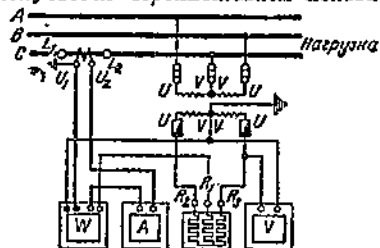


Фиг. 20. Метод одного ваттметра с искусственной нулевой точкой. Непосредственное включение.

непосредственное включение приборов, на фиг. 21 — полукосвенное включение, а на фиг. 22 — косвенное включение. Измеренная по схемам фиг. 20, 21 и 22 мощность трехфазного тока получается перемножением показав



Фиг. 21. Метод одного ваттметра с искусственной нулевой точкой. Полукосвенное включение.



Фиг. 22. Метод одного ваттметра с искусственной нулевой точкой. Косвенное включение.

ний ваттметра а на цену деления ваттметра С (без добавочных сопротивлений) и на постоянную сопротивления C_1 для трехфазного тока (для создания искусственной нулевой точки):

$$P = C_1 C \cdot \alpha \text{ ватт.}$$

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

Постоянная добавочного сопротивления C_1 указывается на самом сопротивлении.

§ 34. Постоянная добавочного сопротивления C_1 для трехфазного тока вычисляется из следующих соображений: при измерениях с тем же сопротивлением R_1 в цепи ваттметра, что и при однофазном измерении, мы получаем мощность одной фазы. Чтобы получить мощность трехфазного тока, необходимо полученный результат помножить на 3, т. е. постоянная сопротивления для трехфазного тока будет равна постоянной сопротивлению при однофазном токе, умноженном на три. При этом два других сопротивления R_2 и R_3 должны быть больше R_1 на величину сопротивления ваттметра R_a .

§ 35. Пример. Чему равняется постоянная сопротивления C_1 для трехфазного тока ваттметра с внутренним сопротивлением 1 000 ом?

Необходимо измерить мощность при междуфазовом напряжении 220 в. Фазовое напряжение равно

$$U_{\phi} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ в.}$$

Выбираем сопротивление $R_1 = 3000$ ом. Тогда постоянная сопротивления при однофазном токе

$$C_1 = \frac{R_a + R_1}{R_a} = \frac{1000 + 3000}{1000} = 4$$

и постоянная сопротивления при трехфазном токе

$$C_1 = 4 \cdot 3 = 12.$$

Сопротивления R_2 и R_3 должны быть равны

$$R_2 = R_3 = R_1 + R_a = 3000 + 1000 = 4000 \text{ ом.}$$

§ 36. При равномерной нагрузке фаз измерение мощности трехфазного тока одним ваттметром с доступной или искусственно созданной нулевой точкой дает достаточную для практических целей точность.

При неравномерной нагрузке фаз эта схема не может быть рекомендована для точных измерений.

Измерение мощности по фиг. 19 неправильно и не может быть рекомендовано, так как при этой схеме нулевая точка слишком неустойчива. Небольшая разница в токах холостого хода трансформаторов напряжения вносит несимметрию даже при симметричном высоком напряжении. Включение измерительного прибора в цепь одного из трансформаторов напряжения еще больше смещает нулевую точку.

в) Метод одного ваттметра с переключателем напряжения

§ 37. Мощность равномерно нагруженной трехфазной системы можно определить при помощи обыкновенного однофазного ваттметра, если включить в одну фазу токовую катушку прибора, а катушку напряжения ваттметра присоединять поочередно к двум междуфазовым напряжениям, как это показано на схемах фиг. 23, 24 и 25, где токовая катушка ваттметра включена в фазу C, а катушка напряжения ваттметра присоединяется последовательно к междуфазовому напряжению U_{C-A} и U_{C-B} .

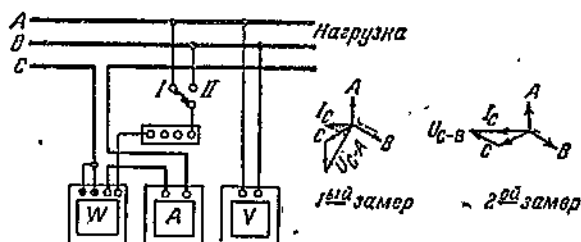
О действии ваттметра по этой схеме можно судить по векторным диаграммам, приведенным на фиг. 23.

Если сравнить эти векторные диаграммы с векторными диаграммами,

приведенными на фиг. 1 для схемы Ароиа, то можно видеть, что они совершенно идентичны. Отсюда общая мощность при методе одного ваттметра с переключателем напряжения, так же как при измерениях по схеме Ароиа, равна

$$P = C (\alpha_1 \pm \alpha_2) \text{ ватт.}$$

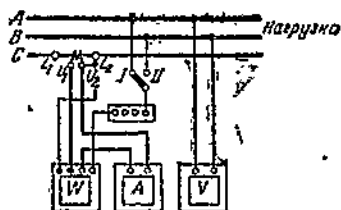
Отклонения α_1 и α_2 суммируются, если при обоих положениях переключателя напряжения получаются отклонения стрелки прибора в одном направлении. Если при одном из двух измерений приходится менять направление тока в цепи напряжения ваттметра, чтобы получить положительное отклонение стрелки, т. е. слева направо, то тогда из большого отклонения необходимо вычитать меньшее.



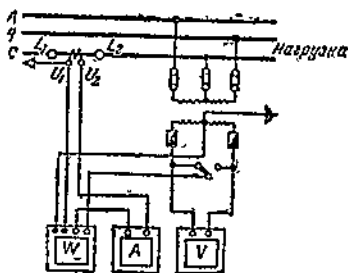
Фиг. 23. Метод одного ваттметра с переключателем напряжения. Непосредственное включение.

§ 38. Метод одного ваттметра с переключателем напряжения при равномерной и изменяющейся нагрузке фаз имеет почти такую же точность, как и схема Ароиа с одним ваттметром и с переключателем.

Так как оба измерения производится друг за другом, то кроме равномерного распределения нагрузки по фазам следует еще предположить, что за время между двумя измерениями нагрузка значительно



Фиг. 24. Метод одного ваттметра с переключателем напряжения. Полукошвенное включение.



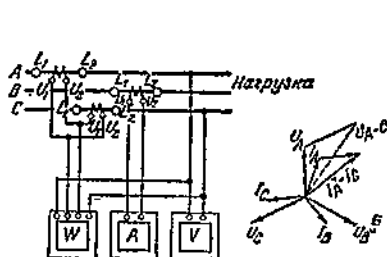
Фиг. 25. Метод одного ваттметра с переключателем напряжения. Косвенное включение.

не изменяется. Поэтому при измерениях по этой схеме необходимо всегда проверять при помощи контрольного измерения, не изменилась ли нагрузка за время между двумя измерениями. Так как практически (даже при вполне симметричной нагрузке) последняя все же меняется, то поэтому к измерительной точности данной схемы нельзя предъявлять серьезных требований.

Однако указанная схема имеет существенное преимущество.— простоту.

г) Метод одного ваттметра, включенного на геометрическую разность токов

§ 39. При недоступной нулевой точке и отсутствии специальных сопротивлений для создания искусственной нулевой точки можно применить включение однофазного ваттметра (счетчика) по специальной схеме — фиг. 26 и 27. При этом токовая катушка ваттметра (счетчика) вклю-



Фиг. 26. Метод одного ваттметра. Включение на разность токов и линейное напряжение. Полуковсвенное включение.

чается на геометрическую разность токов фазы А и С, т. е. на ток I_{A-C} , а катушка напряжения ваттметра (счетчика) — на линейное напряжение U_{A-C} .

Так как

$$I_{A-C} = \sqrt{3} \cdot I_A = \sqrt{3} \cdot I_B = \sqrt{3} \cdot I_C = \sqrt{3} \cdot I_{\text{лин}},$$

то замеренная при этой схеме мощность

$$P = \sqrt{3} \cdot I_{\text{лин}} U_{\text{лин}},$$

т. е. непосредственно замеряется мощность трехфазного тока. Ваттметр (счетчик) для данной схемы должен быть выбран на линейное напряжение, а трансформаторы тока на ток $\sqrt{3} \cdot I_{\text{нагр}}$. Подсчет мощности P по счетчику производится так же, как и в § 42. При осуществлении этой схемы следует иметь в виду, что непосредственное включение приборов здесь не выполнимо, так как к измерительному прибору подводится геометрическая разность токов двух фаз. Здесь возможны только схемы полукосвенного и косвенного включения приборов.

В отношении точности метода надо заметить, что при несимметрии токов, не превышающей 5%, метод этот дает достаточную для практических целей точность.

При наличии установленного на предприятии общего трехфазного счетчика потребляемая мощность, напряжение, ток, а следовательно, и коэффициент мощности могут быть определены так же, как и при помощи однофазного счетчика. При этом предполагается, что точность установленного на предприятии счетчика находится в пределах допустимой по нормам погрешности.

д) Метод однофазного счетчика активной энергии

§ 40. Активная мощность при отсутствии ваттметров может быть измерена также при помощи однофазного счетчика активной энергии.

Схемы измерений будут различны в зависимости от того, доступна ли нулевая точка системы или она недоступна.

§ 41. При достижении нулевой точки однофазный счетчик активной энергии, вольтметр и амперметр включаются в полной аналогии со схемой фиг. 17, 18 и 19 (схема фиг. 19 в этом случае не может быть рекомендована).

§ 42. Для определения потребляемой мощности необходимо по секундомеру отсчитать число оборотов диска счетчика за время не менее 60 сек.

Тогда замеренная мощность одной фазы

$$P = \frac{n \cdot 3600}{K \cdot t} \text{ кВт,}$$

где K — постоянная счетчика, т. е. число оборотов диска счетчика, соответствующее одному киловаттчасу или гектоваттчасу (постоянная счетчика имеется на фирменной дощечке);

n — число оборотов диска счетчика, замеренное за время t сек.;

t — время в секундах, в течение которого замерено n оборотов диска счетчика.

Примечание. Если K — постоянная счетчика, соответствующая одному гектоваттчасу, то по вышеприведенной формуле вычисленная мощность будет выражаться в гектонаттах.

Так как K — постоянная величина для данного счетчика, то предыдущая формула может быть представлена в более простом виде

$$P = C \cdot \frac{n}{t} \text{ кВт,}$$

где

$$C = \frac{3600}{K}.$$

Для удобства вычислений составляется следующая таблица:

№ отсчетов	Число оборотов диска n	Время t сек.	Мощность P кВт
1			
2			
3			
4			

Практически замеры производятся следующим образом: в зависимости от скорости вращения диска выбирается круглое число оборотов диска (10 ÷ 20 ÷ 30 и т. д.), которое делает диск за время 60—120 сек. (для этого необходимо сделать предварительный отсчет по секундомеру). После этого по секундомеру засекается время и начинают отсчитывать выбранное число оборотов диска счетчика и в конце отсчета вновь засекается время по секундомеру.

При определенном заранее выбранном числе оборотов диска n формула подсчета мощности еще более упрощается и принимает следующий вид:

$$P = \frac{C_1}{t} \text{ кВт,}$$

где

$$C_1 = \frac{n \cdot 3600}{K}.$$

Величина C_1 вычисляется заранее.*

Одновременно с производством отсчетов по счетчику делаются замеры по амперметру и вольтметру. Имея величины мощности P , тока I и напряжения U , по известной формуле определяется коэффициент мощности. Предварительно вычисленная мощность одной фазы P должна быть умножена на 3. Метод счетчика применим при постоянной неизменной нагрузке. При равномерной нагрузке фаз и достаточно тщательной произведенных отсчетах по счетчику этот метод дает такую же точность, как и метод одного ваттметра при доступной нулевой точке.

е) Метод парных счетчиков, включенных по схеме Арона

§ 43. Иногда на предприятиях учет активной энергии производится при помощи парных однофазных счетчиков, включенных по схеме Арона.

В этом случае мощность может быть измерена по показаниям счетчиков. Для определения потребляемой мощности необходимо, как и при методе однофазного счетчика активной энергии, одновременно отсчитывать по секундомеру число оборотов дисков счетчиков за время не менее 60 сек.

Практически замеры производят два человека следующим образом: выбирают число оборотов (n_1) более быстро вращающегося диска одного из счетчиков за время 100—120 сек. После этого, по команде засекая время по секундомеру, начинают отсчитывать выбранное число оборотов у более быстро идущего счетчика.

Одновременно второй человек начинает отсчитывать число оборотов диска второго счетчика. В конце отсчета выбранного числа оборотов диска засекается по команде время по секундомеру и одновременно заканчивается отсчет по второму счетчику.

Приняв те же обозначения, что и в § 43, с индексам 1 и 2 для первого и второго счетчика, находим мощность P_1 (по первому счетчику):

$$P_1 = C \frac{n_1}{t} \text{ кВт}$$

и мощность P_2 (по второму счетчику)

$$P_2 = C \frac{n_2}{t} \text{ кВт.}$$

Общая мощность трехфазной сети, измеренная счетчиками,

$$P = P_1 \pm P_2 = \frac{C}{t} (n_1 \pm n_2).$$

Знак минус берется тогда, когда второй счетчик вращается в обратную сторону, т. е. при коэффициенте мощности меньше 0,5.

Одновременно с производством отсчетов по счетчикам делаются замеры по амперметру и вольтметру.

Имея величины мощности P , силы тока I и напряжения U , определяем мгновенное значение коэффициента мощности.

При тщательно произведенных отсчетах по счетчикам этот метод дает почти такую же точность, как и метод двух ваттметров, включенных по схеме Арона. Несколько меньшая точность этого метода по сравнению с методом двух ваттметров объясняется меньшей точностью самих счетчиков по сравнению с точностью ваттметров прецизионного типа, а также наличием отсчетов за некоторый, хотя и небольшой, отрезок времени (100—120 сек.).

Примечание. Если счетчики включены через трансформаторы тока и напряжения, то измеренную величину мощности необходимо умножить на соответствующие коэффициенты трансформации трансформаторов тока $k_{т.т.}$ и трансформаторов напряжения $k_{т.н.}$.

3. Упрощенные методы определения коэффициента мощности

а) Определение коэффициента мощности по отношению отклонений двух однофазных ваттметров

§ 44. Коэффициент мощности можно также определять и без измерений токов и напряжений, непосредственно из отношения отклонений стрелок ваттметров при методе двух ваттметров (схема Арона).

На фиг. 28 приведена кривая зависимости коэффициента мощности от отношения отклонений $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ стрелок ваттметров при измерении мощности трехфазного тока по схеме Арона. При этом α_1 представляет собой меньшее, а α_2 — большее отклонение стрелки.

На фиг. 28 даны значения коэффициента мощности как для положительных, так и для отрицательных значений отношения отклонений $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$.

§ 45. Пример 1. Отклонение одного ваттметра равно 40 делениям шкалы, а другого 20 делениям. Оба отклонения имеют положительный знак.

$$\text{Тогда отношение } \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{20}{40} = 0,5,$$

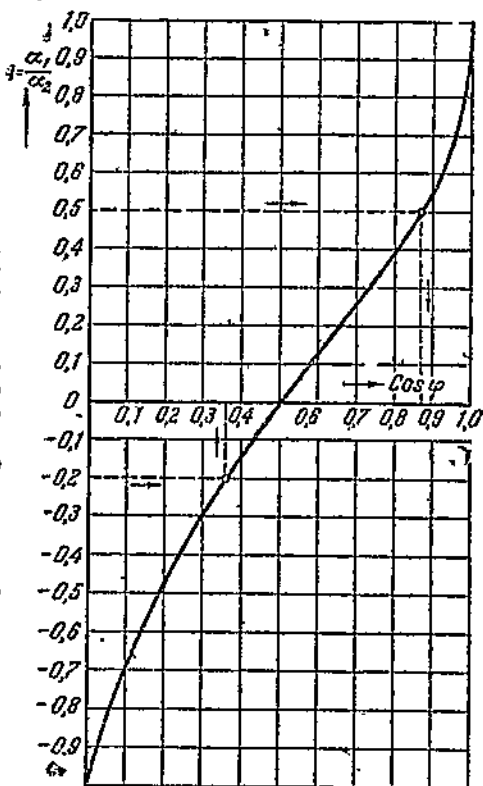
По кривой фиг. 28 находим, что для отношения $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = 0,5$ коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,87$.

Пример 2. Пусть отклонение одного ваттметра равно 50 делениям с положительным знаком, а отклонение другого ваттметра равно 10 делениям, но с отрицательным знаком. Тогда

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{-10}{50} = -0,2$$

и по кривой фиг. 28 коэффициент мощности

$$\cos \varphi = 0,86.$$



Фиг. 28. Определение коэффициента мощности из соотношения отклонений

стрелок $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ при методе двух ваттметров (схема Арона).

Нужно иметь в виду, что кривая фиг. 28 действительна только для трехфазного тока равномерной нагрузки с чисто синусоидальной формой кривой тока, т. е. в общем дает только приблизительные значения коэффициента мощности.

Однако при равномерной нагрузке метод этот может быть рекомендован благодаря чрезвычайной своей простоте, так как в предельном случае он требует только одного измерительного прибора—ваттметра с переключателем.

б) Определение коэффициента мощности по показаниям двух однофазных счетчиков

§ 46. Коэффициент мощности можно легко определить и по показаниям двух парных однофазных счетчиков, включенных по схеме Арона.

Принимая те же обозначения, что и в § 42, с индексами 1 и 2 для первого и второго счетчика, определяем при помощи отсчетов по секундомеру мощности P_1 и P_2 (см. метод, приведенный в § 43).

Тогда отношение

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \pm \frac{n_2}{n_1},$$

где n_1 — число оборотов диска более быстро вращающегося счетчика за время t (100—120 сек.);

n_2 — число оборотов диска второго, более медленно вращающегося счетчика за то же время t (100—120 сек.).

Знак минус берется, когда второй счетчик вращается в обратную сторону.

Имея отношение $\pm \frac{n_2}{n_1}$ (меньше единицы), по кривой фиг. 28 находим соответствующее значение коэффициента мощности, как то приведено в § 44.

4. Сравнительная таблица методов измерения коэффициента мощности

§ 47. В заключение приведена сравнительная таблица всех описанных в настоящей инструкции методов измерения коэффициента мощности:

Таблица 1

№ по пор.	Метод измерения	Преимущества метода	Недостатки метода
1	Фазометром	1. Простота 2. Непосредственный отсчет измеряемой величины	Недостаточная точность для большинства фазометров при большой (более 5%) неравномерности в нагрузке фаз
2	Схема Арона	1. Точность метода 2. Не зависит от формы кривой, неравномерности нагрузки и треугольника напряжений системы	Большое количество приборов

№ по- пор.	Метод измерения	Преимущества метода	Недостатки метода
3	Одним ваттметром	Сравнительная простота	1. Недостаточная точность метода при неравномерности нагрузки более 5% 2. Измерения по схеме фиг. 19 не рекомендуются (см. § 36)
4	Одним ваттметром с переключателем напряжения	1. Сравнительная простота 2. При равномерной нагрузке одинаковая почти точность, что и схемы Аропа с переключателем	Недостаточная точность при неравномерной (более 5%) и сильно колеблющейся нагрузке
5	Однофазным счетчиком активной энергии	Те же преимущества и недостатки, что и метода одного ваттметра	
6	Парными счетчиками, включенными по схеме Аропа	Те же преимущества и недостатки, что и по п. 2 данной таблицы, но несколько проще, так как используются установленные счетчики. Недостаток — несколько меньшая точность, чем по п. 2	
7	По отношению отклонений ваттметров $\frac{a_1}{a_2}$	1. Чрезвычайная простота 2. Небольшое число приборов	Недостаточная точность при неравномерной (более 5%) нагрузке
8	Одним ваттметром, включенным на геометрическую разность токов	Сравнительная простота	Недостаточная точность при неравномерной (более 5%) нагрузке

IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕВЗВЕШЕННОГО КОЭФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

§ 48. Для определения величины средневзвешенного коэффициента мощности необходимо иметь: 1) мгновенные значения коэффициента мощности за определенный небольшой отрезок времени, в течение которого нагрузка потребителя имеет постоянную величину; 2) соответствующие значения нагрузки потребителя (см. § 3).

Тогда средневзвешенный коэффициент мощности (§ 5)

$$\cos \varphi_{cp} = \frac{\sum_1^n P \cdot \cos \varphi}{\sum_1^n P}$$

По этой формуле, имея отдельные значения коэффициента мощности ($\cos \varphi$) и нагрузки потребителя (P) в киловаттах, можно вычислить средневзвешенный коэффициент мощности ($\cos \varphi_{ср}$) для любого отрезка времени (смена, сутки, месяц и т. д.)

Практически чаще всего необходимо бывает определить средневзвешенный коэффициент мощности за месяц (так как расчеты за потребляемую электроэнергию производятся ежемесячно).

§ 49. При определении средневзвешенного коэффициента мощности предприятия необходимо учитывать следующие факторы, существенно влияющие на величину коэффициента мощности:

- а) характер суточного графика нагрузки;
- б) влияние времени года на график нагрузки;
- в) влияние времени года на график нагрузки;

§ 50. Характер суточного графика нагрузки имеет существенное значение при определении средневзвешенного коэффициента мощности: чем ровнее график, тем проще определение $\cos \varphi_{ср}$, тем меньше отдельных значений $\cos \varphi$ и нагрузки P необходимо для вычислений. Сравнительно ровный график имеют промпредприятия, работающие в три смены. Наименее ровный график имеют предприятия, работающие в одну смену.

§ 51. Время года также имеет существенное значение на характер суточного графика нагрузки: весенне-осенний график отличается от летнего и зимнего. Так, осветительная нагрузка летом сравнительно невелика и непродолжительна, в то время как зимой она довольно значительна и более продолжительна.

При подсчетах обычно принимаются во внимание следующие три графика нагрузки (по временам года):

- а) весенне-осенний;
- б) летний;
- в) зимний.

§ 52. На величину средневзвешенного коэффициента мощности имеет влияние также и наличие выходных дней на предприятии. Загрузка предприятия в такие дни минимальная, определяемая ремонтными работами, срочными заказами и т. д. Поэтому при определении $\cos \varphi_{ср}$ необходимо учитывать влияние выходных дней.

Ниже будет показано, как вычисляется средневзвешенный коэффициент мощности с учетом влияния графика нагрузки, времени года и выходных дней.

§ 53. При определении средневзвешенного коэффициента мощности можно ограничиться вычислением его по следующим временам года и в следующие месяцы:

- а) весенне-осенний график—октябрь
- б) летний график—июль
- в) зимний график—январь

С достаточной с практической точки зрения точностью можно считать, что характер графика нагрузки в течение остальных месяцев этого времени года будет мало чем отличаться от расчетного графика.

Далее, ввиду резкого отличия графиков нагрузки предприятия в рабочий и выходной день необходимо знать отдельные значения $\cos \varphi$ и нагрузки P как за рабочий, так и за выходной день.

И, наконец, существенное значение для решения вопроса, как часто надо определять отдельные значения $\cos \varphi$ и нагрузки P , имеет суточный график нагрузки. Поэтому при определении средневзвешенного коэффициента мощности необходимо прежде всего знать суточный график нагрузки.

§ 54. Наиболее просто суточный график нагрузки составляется по показаниям общего счетчика промпредприятия,

Снятая в течение 24 час. в конце каждого часа показания счетчика в киловаттчасах и перенося его на график, непосредственно получаем ступенчатый суточный график нагрузки в квт.

Имея снятый подобным образом график нагрузки, можно решить, как часто надо мерить отдельные значения $\cos \varphi$ и нагрузки P .

На фиг. 29 приведен примерный ступенчатый график нагрузки предприятия, снятый указанным выше методом. Рассматривая график, можно прийти к выводу, что отдельные значения $\cos \varphi$ и нагрузки P необходимо замерять каждый час.

§ 55. Общая методика замеров при определении средневзвешенного коэффициента мощности следующая:

а) По общему счетчику составляется суточный график нагрузки предприятия в квт. Подобных графиков составляется два: один для рабочего и второй — для выходного дня.

б) На основании снятых суточных графиков определяется, как часто необходимо производить замеры отдельных значений $\cos \varphi$ и нагрузки P .

в) Производятся периодические (в течение суток) измерения отдельных значений $\cos \varphi_1, \cos \varphi_2, \dots, \cos \varphi_n$ и соответствующих им значений нагрузки $P_1, P_2, \dots, P_n$.

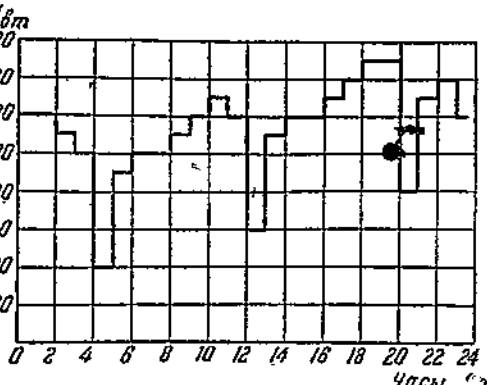
Подобные замеры производятся в течение каждого времени года (весна, осень, лето, зима) для рабочего и выходного дня.

г) Имея отдельные значения $\cos \varphi$ и нагрузки P , определяется величина средневзвешенного значения коэффициента мощности за сутки (отдельно за рабочий и выходной день) по формуле

$$\cos \varphi_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \cos \varphi_i}{\sum_{i=1}^n P_i}.$$

д) Так как практически необходимо учесть влияние выходных дней, то формула для подсчета средневзвешенного коэффициента мощности за сезон получает следующий вид:

$$\cos \varphi_{cp} = \frac{26 \cdot \sum P_1 \cos \varphi_1 + 4 \cdot \sum P_2 \cos \varphi_2}{26 \cdot \sum P_1 + 4 \cdot \sum P_2},$$



Фиг. 29. Примерный график нагрузки предприятия, составленный по показаниям счетчика.

где 26 — число рабочих дней в месяце;
 4 — число выходных дней в месяце;
 $\cos \varphi_1$ и P_1 — значение коэффициента мощности и нагрузки за рабочий день;
 $\cos \varphi_2$ и P_2 — значения коэффициента мощности и нагрузки за выходной день.

Примечание. При непосредственном измерении коэффициента мощности фазометром значения нагрузки P можно брать из суточного графика нагрузки, составленного по ежечасным показателям общего счетчика предприятия.

V. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО КОЭФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПРОМПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ НАЛИЧИИ НА НИХ ИСКУССТВЕННОЙ КОМПЕНСАЦИИ КОЭФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

56. Естественным коэффициентом мощности ($\cos \varphi_{ест}$) предприятия называется коэффициент мощности при отсутствии специальной искусственной компенсации коэффициента мощности.

Естественный коэффициент мощности определяется характером токоприемников-потребителей (трансформаторов, электродвигателей, электропечей и т. д.).

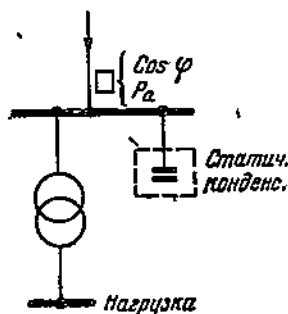
Искусственная компенсация коэффициента мощности может быть осуществлена одним из следующих способов:

- а) установкой батарей статических конденсаторов;
- б) установкой синхронного компенсатора;
- в) работой синхронных и асинхронных синхронизированных электродвигателей с перевозбуждением.

Ниже даются методы определения естественного средневзвешенного коэффициента мощности ($\cos \varphi_{ср.ест}$) при наличии на предприятии одного из вышеприведенных способов компенсации.

A. КОМПЕНСАЦИЯ $\cos \varphi$ ПРИ ПОМОЩИ БАТАРЕИ СТАТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

57. На фиг. 30 приведена принципиальная схема электроснабжения предприятия сравнительно небольшой мощности, на котором для компенсации $\cos \varphi$ установлена батарея статических конденсаторов (K) мощностью Q квар.



Ф и г. 30.

Одним из способов, приведенных в данной инструкции, определяем средневзвешенный коэффициент мощности ($\cos \varphi_{cp}$) и среднюю активную нагрузку потребителя ($P_{a, cp}$) за определенные сутки каждого времени года (§ 65) с учетом работы батарей статических конденсаторов.

Средняя активная нагрузка предприятия определяется из формулы

$$P_{a, cp} = \frac{\Sigma P}{24}.$$

По вычисленному $\cos \varphi_{cp}$ находим по табл. 2 значение соответствующего ему $\lg \varphi_{cp}$.

Таблица 2

Значение $\lg$ и $\cos \varphi$

$\lg \varphi$	$\cos \varphi$	$\lg \varphi$	$\cos \varphi$	$\lg \varphi$	$\cos \varphi$
4,90	0,20	1,88	0,47	0,909	0,74
4,66	0,21	1,83	0,48	0,882	0,75
4,44	0,22	1,78	0,49	0,855	0,76
4,33	0,23	1,73	0,50	0,828	0,77
4,05	0,24	1,69	0,51	0,802	0,78
3,87	0,25	1,64	0,52	0,776	0,79
3,71	0,26	1,60	0,53	0,750	0,80
3,57	0,27	1,56	0,54	0,724	0,81
3,43	0,28	1,52	0,55	0,698	0,82
3,30	0,29	1,48	0,56	0,672	0,83
3,18	0,30	1,44	0,57	0,646	0,84
3,07	0,31	1,40	0,58	0,620	0,85
2,96	0,32	1,37	0,59	0,594	0,86
2,86	0,33	1,33	0,60	0,567	0,87
2,77	0,34	1,30	0,61	0,540	0,88
2,68	0,35	1,27	0,62	0,511	0,89
2,59	0,36	1,23	0,63	0,484	0,90
2,51	0,37	1,20	0,64	0,455	0,91
2,43	0,38	1,17	0,65	0,426	0,92
2,36	0,39	1,138	0,66	0,395	0,93
2,29	0,40	1,108	0,67	0,363	0,94
2,22	0,41	1,078	0,68	0,328	0,95
2,16	0,42	1,049	0,69	0,291	0,96
2,10	0,43	1,020	0,70	0,251	0,97
2,04	0,44	0,992	0,71	0,202	0,98
1,98	0,45	0,964	0,72	0,142	0,99
1,93	0,46	0,936	0,73	0	1,0

Обозначим среднюю реактивную нагрузку предприятия в квар с учетом работы батарей статических конденсаторов через $P_{p, cp}$. Тогда можно написать (стр. 3)

$$\lg \varphi_{cp} = \frac{P_{p, cp}}{P_{a, cp}} = \frac{P'_{p, cp} - Q}{P_{a, cp}},$$

где $P'_{p, cp}$ — средняя реактивная нагрузка потребителя в квар при отсутствии компенсации $\cos \varphi$.

$$P'_{p, cp} = \lg \varphi_{cp} \cdot P_{a, cp} + Q.$$

Имея значение средней реактивной нагрузки без учета компенсации $\cos \varphi$, находим естественный средневзвешенный коэффициент мощности ($\cos \varphi_{ср. ест}$), предварительно определив величину $\lg \varphi_{ср. ест}$ из выражения

$$\lg \varphi_{ср. ест} = \frac{P'_{р. ср}}{P_{а. ср} - P_k},$$

где P_k — активные потери в батарее статических конденсаторов.

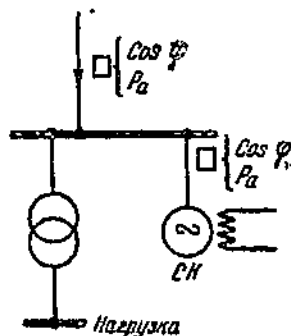
Пренебрегая активными потерями батареи конденсаторов, получим

$$\lg \varphi_{ср. ест} = \frac{P'_{р. ср}}{P_{а. ср}}.$$

Имея $\lg \varphi_{ср. ест}$, находим по табл. 2 значение естественного коэффициента мощности $\cos \varphi_{ср. ест}$.

Б. КОМПЕНСАЦИЯ $\cos \varphi$ ПРИ ПОМОЩИ СИНХРОННОГО КОМПЕНСАТОРА

58. На фиг. 31 приведена схема электроснабжения предприятия, на котором для компенсации $\cos \varphi$ установлен синхронный компенсатор (СК).



Фиг. 31.

Одним из способов определяем средневзвешенный коэффициент мощности и среднюю активную нагрузку всего предприятия в целом и отдельно синхронного компенсатора.

Обозначим:

$\cos \varphi_{ср. ест}$	}	средневзвешенный коэффициент мощности, средняя активная и реактивная нагрузка предприятия без искусственной компенсации $\cos \varphi$
$P_{а. ест}$		
$P_{р. ест}$		
$\cos \varphi_{иск}$	}	то же при наличии искусственной компенсации $\cos \varphi$
$P_{а. иск}$		
$P_{р. иск}$		
$\cos \varphi_k$	}	то же для синхронного компенсатора
$P_{а. к}$		
$P_{р. к}$		

Стр.	Строка	Напечатано	Следует	По чьей вине
26	13 сверху	в) влияние времени года на график нагрузки	в) влияние выходных дней предприятия на график нагрузки	типография

Инструкция по определению средневзвешенного коэффициента мощности

Предварительно определяем

$$P_{p.к} = P_{a.к} \cdot \operatorname{tg} \phi_k$$

Имеем

$$\operatorname{tg} \varphi_{иск} = \frac{P_{p.иск}}{P_{a.иск}} = \frac{P_{p.ест} - P_{p.к}}{P_{a.иск}},$$

откуда по предыдущему

$$P_{p.ест} = \operatorname{tg} \varphi_{иск} \cdot P_{a.иск} + P_{p.к}$$

и далее

$$\operatorname{tg} \varphi_{ест} = \frac{P_{p.ест}}{P_{a.ест}} = \frac{P_{p.ест}}{P_{a.иск} - P_{a.к}}$$

или, пренебрегая активными потерями синхронного компенсатора,

$$\operatorname{tg} \varphi_{ест} = \frac{P_{p.ест}}{P_{a.иск}},$$

по $\operatorname{tg} \varphi_{ест}$ находим по табл. 2 значение $\cos \varphi_{ест}$.

В. КОМПЕНСАЦИЯ $\cos \varphi$ ПРИ ПОМОЩИ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

59. В рассматриваемом случае компенсация $\cos \varphi$ осуществляется работой синхронных или асинхронных синхронизированных электродвигателей, несущих активную нагрузку, при этом считается, что предприятие с установленными на нем синхронными или синхронизированными двигателями имеет естественный (некомпенсированный) $\cos \varphi$ при работе означенных двигателей с нормальным $\cos \varphi = 1$. Искусственный $\cos \varphi$ предприятия будет иметь место при работе двигателей с перевозбуждением.

Схема электроснабжения в этом случае аналогична схеме фиг. 31.

Средневзвешенный естественный коэффициент мощности вычисляется, как и в предыдущем случае, из формулы

$$\operatorname{tg} \varphi_{ест} = \frac{P_{p.ест}}{P_{a.иск}},$$

при этом предварительно, как и в предыдущем случае, необходимо определить $P_{p.ест}$ и $P_{a.иск}$. Обозначения здесь те же, что и в § 58.

По $\operatorname{tg} \varphi_{ест}$ находим по таблице значение $\cos \varphi_{ест}$.

При наличии на предприятии не одного, а целого ряда синхронных или асинхронных синхронизированных двигателей, несущих активную нагрузку, необходимо предварительно по предыдущему определить для каждого из них $P_{p.дв}$.

Тогда

$$\operatorname{tg} \varphi_{иск} = \frac{P_{p.иск}}{P_{a.иск}} = \frac{P_{p.ест} - \sum (P_{p.дв})}{P_{a.иск}},$$

откуда

$$P_{p.ест} = \operatorname{tg} \varphi_{иск} \cdot P_{a.иск} + \sum (P_{p.дв}),$$

где $\sum (P_{p.дв})$ — сумма реактивных мощностей, вырабатываемых двигателями.

Тогда $\cos \varphi_{ест}$ определяется из формулы

$$\operatorname{tg} \varphi_{ест} = \frac{P_{p.ест}}{P_{a.иск}}.$$

По $\operatorname{tg} \varphi_{ест}$ находим по табл. 2 значение $\cos \varphi_{ест}$.