

ИЗМЕРЕНИЕ

МОЩНОСТИ

AM-.

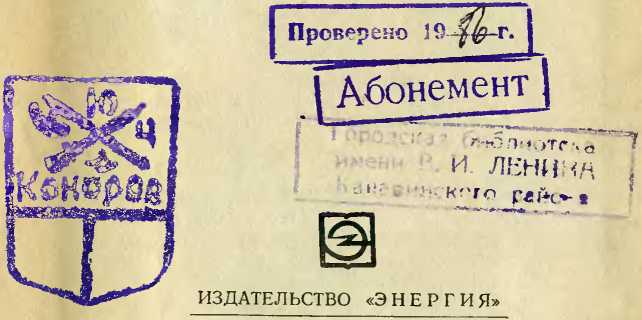
tw

библиотека электромонтера

Выпуск 173

Г. П. МИНИН

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ

*Издание 2-е,  
переработанное и дополненное*

МОСКВА

1965

ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Большам Я. М., Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В.,  
Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. И.,  
Смирнов А. Д., Устинов П. И.**

УДК 621.317.382(04)

М62

В брошюре рассмотрены вопросы измерения актив­ной и реактивной мощности в электроустановках, про­мышленной и повышенной частоты. Приведены принци­пиальные схемы и векторные диаграммы с краткими теоретическими обоснованиями.

Подробно описаны практические схемы измерения мощности в обычных условиях эксплуатации, а также подчеркнуты особенности измерений при испытаниях генераторов, трансформаторов, линий электропередачи и электродвигателей. Даны сведения по измерению мощности бытовых электроприборов.

Типичные случаи измерений иллюстрируются при­мерами по выбору приборов, схем и оценке результа­тов измерения.

Брошюра предназначена для электромонтеров, имеющих законченное среднее образование, знакомых с принципом действия и устройством электроизмери­тельных приборов и принимающих участие в испыта­ниях электрооборудования. Она может быть полезна среднему техническому персоналу и учащимся.

*Минин Глеб Петрович*

**Измерение мощности**

М.—Л., издательство .Энергия", 1965.

120 с. с черт. Б-ка электромонтера. Вып. 173  
Бланк-заказ 35/65 № 15, 1965

Редактор *И. П. Шумиловская* Техн, редактор О- *П. Печенкина*

Сдано в набор 9/VH 1965 г. Подписано к печати 15/IX 1965 г.

Т-13221 Формат 84х108'/за Печ. л. 6,3 Уч.-изд. л 6,19

Тираж 23000 экз. Цена 22 коп. Зак. 475

Московская типография № '10 Главполиграфпрома

Государственного комитета Совета Министров СССР по печати.

Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

В технике электрических измерений измерение мощ­ности занимает особое место. Это объясняется, во-пер­вых, его большим практическим значением, во-вторых, сравнительной сложностью, в-третьих, тем, что непра­вильное включение приборов в ряде случаев не приво­дит к явно ложным результатам и потому может ока­заться незамеченным.

Эта брошюра имеет целью систематически рассмот­реть основные вопросы, с которыми приходится сталки­ваться при измерениях мощности, и представляет собой изложение следующих разделов.

1. Общая методика измерений, основные определения и формулы •(§ 1). В силу того, что в последующих пара­графах приходится ссылаться на формулы, они перену­мерованы.
2. Техника измерений активной мощности: генерато­ров (§ 2), асинхронных электродвигателей (§ 3), потре­бителей в сетях трехфазного тока (§ 4), при испытаниях электрооборудования (§ 5 и 6), бытовых электроприбо­ров (<§ 12).
3. Техника измерений реактивной мощности (§ 7).
4. В специальном разделе (§ 8) рассмотрено изме­рение мощности при помощи ваттметров в электроуста­новках с повышенной частотой. Там же рассмотрены случаи измерения мощности в цепях, содержащих выс­шие гармонические составляющие тока, а также при резкой асимметрии нагрузки.

5 Техника измерений при поверках ваттметров (§ 9), а также связанные с нею вопросы по определению мощ­ности, потребляемой электроизмерительными приборами (§ 10) и обмотками реле (§ 11).

6. Осциллографирование мощности (§ 13),

В брошюре приводится много примеров, иллюстри­рующих технику выбора той или иной схемы, приборов, необходимых для измерений, а также оценки получен­ных результатов. В приложении даны технические ха­рактеристики переносных ваттметров.

Ограниченный объем брошюры не дает возможности осветить все многообразие вопросов, связанных с изме­рением мощности. Перечень рекомендуемой литературы приведен в конце брошюры.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При выработке и распределении электрической энер­гии почти исключительно применяется трехфазная си­стема переменного тока промышленной частоты (50 *гц).* Поэтому измерение мощности чаще всего производится в цепях переменного тока.

**Основные соотношения.** Активная мощность *Р* трех­фазного тока равна сумме мощностей каждой фазы, т. е.

*P = IxUl* СО5<Р1+/2Н2СО5ф2 + /зНзСО5(рз, (1)

где *Ui, U2, U3 —* фазные напряжения;

Л, *h, h —* фазные токи;

фь фг, фз—углы сдвига фаз между *Ui* и Л, *U2* и *12,* и /3 соответственно.

Для симметричной трехфазной системы (фазные на­пряжения по величине равны, а углы между ними 120°) при равномерной нагрузке фаз выражение мощности трехфазного тока принимает вид

Р = 3/фПф cos<p = |/3/t/cos<p, (2)

где /ф — фазный ток;

*I —* линейный ток;

Дф — фазное напряжение;

*U —* линейное напряжение;

ф — угол сдвига между фазным напряжением и со­ответствующим током.

Это выражение справедливо независимо от схемы со­единения приемника электроэнергии или генератора. Дей­ствительно,’при соединении в звезду *V —* ’ ЗС/ф, но / = 4

= /ф5 при соединении в треугольник / = |/3/ф, но *U — — Уф-*

Аналогичное выражение имеет реактивная мощ­ность Q:

Q *— УЗ IU* sin <р. (3)

Полная (кажущаяся) мощность S равна:

£ = /37(Л (4)

Активная мощность измеряется в ваттах *(вт),* реак­тивная— в вольт-амперах реактивных *(вар),* полная — в вольт-амперах *(ва).* Величины, в 1 000 раз большие, соответственно называются *кет, квар, ква.*

Выражения активной, реактивной и полной мощно­стей связаны следующим образом:

P = Scos?, откуда cos?=^- = ^=f ; (5)

*Q = S*sin?, откуда sin? = \_; (6)

tg?=7k (7)

**Ваттметры.** Измерение активной мощности произво­дится ваттметрами. Переносные ваттметры обычно вы­полняются однофазными, щитовые — трехфазными.

Однофазный переносный лабораторный или техниче­ский ваттметр электродинамической системы имеет непо­движные катушки и подвижную катушку (рамку). По неподвижным катушкам проходит измеряемый (или про­порциональный ему) ток; рамка, соединенная последо­вательно с добавочным сопротивлением, присоединяется параллельно нагрузке, т. е. измеряет напряжение напей.

Вращающий момент, создаваемый взаимодействием электродинамических сил, возникающих между непо­движными и подвижной катушкой, равен:

*MBV=KIIV* cos *q = KIU* cos<p,

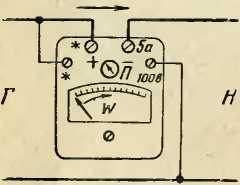
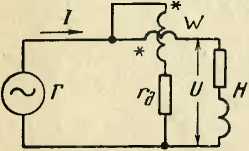
где A — постоянный коэффициент, зависящий от свойств данного прибора и его градуировки;

*I —* ток в последовательной цепи ваттметра;

*1и —* ток в параллельной цепи ваттметра;

*U —* напряжение на нагрузке;

<р — угол сдвига фаз между током нагрузки и напря­жением.

Так как cos ср положителен в пределах от +90° до —90°, то при указанных значениях угла сдвига фаз вра­щающий момент ваттметра положителен и его стрелка направлении, т. е. слева (от нуля) направо (к наиболь­шему делению шкалы). Эти пределы по углу охватыва­ют крайние случаи измере­ния мощности как с отстаю­щим током (при индуктив­ной нагрузке), так и с опе­режающим током (при ем­костной нагрузке). Для уг­лов ср, больших 90°, косинус отрицателен. Поэтому вра­щающий момент изменяет знак на обратный. Увеличе­ние угла сдвига между то­ком и напряжением сверх 90° соответствует изменению направления передачи мощ­ности.

отклоняется в правильном

Рис. 1. Измерение мощности ваттметром.

*Г —* генератор; *Н —* нагрузка; IT — ваттметр; гд — добавочное сопро­тивление в цепи напряжения ватт­метра; *П —* переключатель поляр­ности ваттметра.

Необходимо особое вни­мание обратить на то, что показания ваттметра также будут отрицательны, если изменить на обратное на­правление тока в одной из цепей ваттметра: в цепи тока или в цепи напряжения, хотя угол ср при этом и будет меньше 90°. Это свойство ваттметра реагировать на направление мощности (полярность ваттметра) не­обходимо учитывать при включении его в схему изме­рений.

Обычно для переносных ваттметров однополярные генераторные зажимы располагаются с левой стороны корпуса прибора и обозначаются звездочкой. При под­ключении этих зажимов со стороны питания стрелка ваттметра отклоняется вправо, т. е. в направлении пере­дачи мощности. Сказанное поясняется рис. 1.

Переносные ваттметры всегда снабжаются переклю­чателем полярности, изменяющим направление тока в цепи напряжения, что дает возможность при измере­нии изменять полярность ваттметра без пересоединения проводов питания на его зажимах. Это бывает необходи­мо при измерении мощное! и трехфазной установки по схеме двух ваттметров, о чем будет сказано ниже.

Переносные ваттметры, как правило, выполняются многопредельными по току и по напряжению. Нижний предел по току может составлять десятки миллиампер, верхний обычно выше 10 *а* не делается. По напряжению ваттметры выполняются на пределы от 30 до 600 *в.* Для измерения посредством трансформаторов тока и транс­форматоров напряжения применяются переносные ватт­метры с номинальным током 5 а и номинальным напря­жением 100 *в.*

Предел измерения по мощности в ваттах зависит от пределов измерения по току и напряжению. Поэтому шкала переносного (лабораторного) ваттметра градуи­руется в делениях, число которых чаще всего бывает 75, 100 или 150, а для каждого сочетания пределов по току и напряжению дается постоянная ваттметра, т. е. число ватт, приходящееся на одно деление шкалы.

Как правило, переносные (лабораторные) ваттметры нормального исполнения градуируются при cosq>=l. По­этому предел измерения по мощности ваттметра опре­деляется перемножением предела по току на предел по напряжению. Так, например, если у ваттметра предел по току взят /„=12,5 *а,* а предел по напряжению *Un=* = 300 *в,* то предел измерения по мощности в ваттах Рн=/П17н=2,5 • 300=750 *вт.* Если при этом шкала имеет ан=150 делений, то постоянная ваттметра равна:

= 2’У00-=5 ет/^°-

**<\*Л 1DU**

Если при измерении стрелка ваттметра показывает а делений, то измеряемая мощность равна:

*Р* = СвТа[ьг]. (8)

Для измерения мощности в цепях с низки и коэффи­циентом мощности применяются специальные малокоси­нусные ваттметры, у которых полное отклонение стрелки

При номинальных токе и напряжении имеет место при cos ф =0,1 или другом значении, указанном на ватт­метре. Для таких ваттметров постоянная ваттметра равна:

= r"U” cos Тп . (91

где cos фп — значение соэф, указанное на шкале ваттмет­ра. Постоянная малокосинусных ваттметров обычно дается заводом-изготовителем для каждого предела измерения.

Современные переносные ваттметры выпускаются отечественными заводами с широкими пределами изме­рений, с различными параметрами цепей и всех классов точности, начиная от 0,1 и ниже. В приложении приведе­ны типы и параметры наиболее распространенных пере­носных ваттметров, включая и трехфазные.

Щитовые ваттметры обычно изготовляются трехфаз­ными (по схеме двух ваттметров) и в большинстве своем градуируются для включения с определенными по коэф­фициенту трансформации трансформаторами тока и трансформаторами напряжения. Для установок низкого напряжения щитовые ваттметры часто изготовляются для включения токовых цепей через трансформаторы то­ка и для непосредственного включения цепей напряже­ния (полукосвенное включение).

**Возможные случаи измерения мощности.** Выработка и передача энергии на высоком напряжении производятся по трехфазной уравновешенной схеме без нулевого про­вода, при практически симметричной и равномерной на­грузке по фазам.

Распределительные сети 6—10 *кв* также выполняются трехфазными, трехпроводными. Распределение же энер­гии на напряжении до 1 000 в производится обычно трех­фазными, четырехпроводными линиями (три фазы и нуль), дающими возможность использовать линейные на­пряжения для включения двигателей, а фазные — для освещения. В связи с развитием электрификации сель­ского хозяйства получат развитие однофазные сети для питания электродвигателей. Поэтому четырехпроводные сети напряжением до 1 000 *в,* как правило, имеют нерав­номерную нагрузку по фазам, а порой и несимметрич­ную. Это особенно относится к заводским сетям, строи- 8

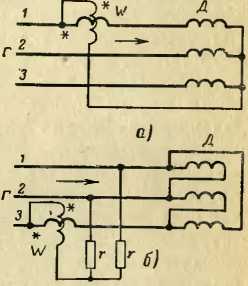
тельным площадкам, где большую долю однофазной на­грузки составляют сварочные аппараты.

Рис. 2. Измерение мощно­сти при симметричной и равномерной нагрузке фаз. *а —* нулевая точка доступна; *б —* нулевая точка недоступна; *Г —* генератор; *Д* — двигатель; *W —* ваттметр; г — сопротивле­ния, равные по величине вну­треннему сопротивлению цепи напряжения ваттметра.

В связи со сказанным возможные случаи измерения мощности трехфазных установок сводятся к следую­щему:

1. Нагрузка симметрична и равномерна по фазам. Звезда фазных (и линейных) напряжений симметрична, т. е. фазные напряжения сдвинуты друг относительно друга на 120°. Токи нагрузки по фазам равны между собой и имеют во всех фазах оди­наковые сдвиги относительно фазных напряжений (полная симметрия).
2. Звезда фазных (и линей ных) напряжений симметрич­на, как и выше, но токи на­грузки по величине и фазе не равны между собой (простая асимметрия) как для трехфаз­ных трехпроводных, так и трехфазных четырехпроводных установок.
3. Звезда фазных (и линей­ных) напряжений искажена: фазные напряжения различны по величине и сдвиг между ними отличается от 1'20°. Токи нагрузки по величине и фазе не равны между собой (слож­ная асимметрия) для трех­фазных трехпроводных и для водных установок.

**Измерение активной мощности при полной симметрии** может производиться путем измерения мощности в одной любой фазе. Для определения мощности трехфазного тока полученный результат измерений умножается на Три

трехфазных четырехпро-

Р=ЗРФ. (10)

Принципиальная схема измерения показана на рис. 2 для двух характерных случаев: *а —* нулевая точка трех­фазной установки доступна и *б —* нулевая точка недо­ступна и для измерения использована искусственная нулевая точка, созданная сопротивлениями г, равными по величине внутреннему сопротивлению цепи напряже­ния ваттметра.

**Измерение активной мощности при простой асиммет­рии** в трехфазных установках без нулевого провода яв­ляется наиболее распространенным и охватывает большинство установок высокого напряжения, выраба­тывающих, распределяющих и потребляющих электро­энергию. Частным случаем является полная симметрия (например, асинхронный электродвигатель).

Мощность в этом случае могла бы быть получена путем измерения тремя ваттметрами мощности каждой фазы и суммирования результатов измерения. Для по­лучения фазного напряжения пришлось бы цепи напря­жений ваттметров включить в звезду.

Однако повсеместное распространение в этом случае получила так называемая схема двух ваттметров (схема Арона), которая дает возможность обойтись двумя ватт­метрами, двумя трансформаторами тока и двумя транс­форматорами напряжения и, как будет показано ниже, дает правильные результаты и в случае сложной асим­метрии в трехфазных установках без нулевого провода.

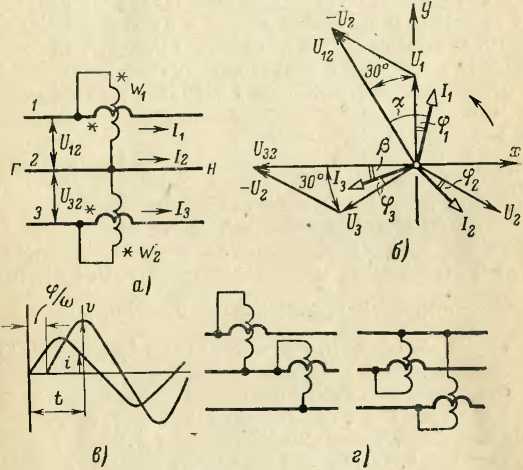
Поскольку схема двух ваттметров является основной при измерении мощности в трехфазных установках и обладает рядом особенностей, рассмотрим ее подробно.

**Схема двух ваттметров.** Принципиальная схема **двух** ваттметров изображена на рис. 3,п.

Как видно из схемы, токовая цепь первого ваттмет­ра *Wj* включена в фазу /, причем генераторный зажим (отмеченный звездочкой) присоединен со стороны пита­ния. Цепь напряжения этого ваттметра включена на ли­нейное напряжение между фазами *1* и 2, и ее генератор­ный зажим присоединен к фазе *1.* Токовая цепь второго ваттметра 1F2 включена в фазу *3,* причем ее генератор­ный зажим также подсоединен со стороны питания. Цепь напряжения второго ваттметра включена между фазами *3* и 2, а ее генераторный зажим присоединен к фазе *3.*

Векторная диаграмма схемы двух ваттметров дана на рис. 3,6.

Напомним, что при построении векторных диаграмм условно принимаются потенциалы концов обмоток трех­фазного симметричного источника тока, соединенногов звезду, выше потенциалов начал обмоток, потенциал которых равен нулю. Соответственно этому считают по­ложительным направлением векторов направление от ну­левого или от низшего потенциала к высшему, и тогда конец вектора, обозначенный острием стрелки, будет по­ложительным. Вектор обозначается двумя индексами, из



■Рис. 3. Принципиальная схема двух ваттметров.

*а —* схема включения ваттметров; *б —* векторная диаграмма (а= =30°+<Рп ₽=30°+<Рз): в — мгновенные значения напряжения н тока для момента времени *t; г —* варианты схем включения ваттметров.

которых первый обозначает конец вектора (острие стрелки), а второй — начало. Если начало вектора имеет условный нулевой потенциал, то обычно второй индекс опускается. Так, например, фазное напряжение фазы *1* обозначается *U10* или *Ul.* Линейное напряжение между фазами *1* и *2,* являющееся геометрической разностью этих двух фазных напряжений, обозначается *Ui—Uz=U12t* и в то же время *Uz — Uj —* является таким же век­тором, но имеющим противоположное направление.

Из векторной диаграммы видно, что первый ваттметр измеряет мощность *Pl^IiUl2cosa* и второй *Р2 =* =/3I/32 cos 0. *Алгебраическая сумма этих двух мощно­стей будет равняться мощности трехфазной уравнове­шенной системе (без нулевого провода) при любой на­грузке фаз, любой асимметрии фазных напряжений и любом чередовании фаз.*

*Для* доказательства перейдем сначала от действую­щих значений напряжения и тока к их мгновенным зна­чениям. В этом случае, как видно из рис. 3,в, для любо­го момента времени *t* мгновенное значение напряжения *и* и мгновенное значение тока *i* совпадают по фазе. Зна­чит, мгновенное значение мощности *р* равно произведе­нию мгновенных значений напряжения и тока.

Тогда мгновенная мощность, измеряемая первым ваттметром, в рассматриваемой схеме будет равна *р\ = — i\Ui2=i\(u\—и2),* а мгновенная мощность, измеряемая вторым ваттметром, *р2=i3u32=i3 (и3—и2).*

Так как для тре.хфазной уравновешенной системы всегда *ii + i2+l3=0* и, следовательно, i2=— (11+/3), то

Pi+Р2 = й(^1—*u2) +i3(u3—u2)* =iiMi +

**+ ?3W3—и2(/1 + г'з) =t'lWl +1'2^2 +** *1зЧ3-* (11)

Иными словами, сумма показаний обоих ваттметров равна сумме мгновенных мощностей всех трех фаз, т. е. равна мощности трехфазной системы (1).

Однако в практике нас интересуют не мгновенные, а действующие значения мощности. Для перехода к дей­ствующим значениям тока и напряжения учтем, что мгновенные значения напряжения и тока могут быть вы­ражены в виде синусоидальных функций, а именно

*U* **= f/макс Sin И** *I* **— /макс sin (со/“Ьф) ,**

где **/7Макс** и **/Макс —** максимальные (амплитудные) зна­чения напряжения и тока;

ср — угол сдвига фаз между напряже­нием и током;

со — угловая частота переменного тока, .причем

**а г 2яш —** 2т./ = —jT-,где f — частота переменного тока;

*Т—* период колебаний.

Следовательно, мгновенная мощность может быть представлена как

*р = ui = иыакс* sin О)//Макс sin *(mt* + <P) =

*= Uny* J £аке\_ cos ? \_ ~~t/макс/макс~~ ~~=~~

*= UI* cos <p — *UI* cos (2иД -j- <p)\*.

где *U* и *I —* действующие (среднеквадратичные или эф­фективные) значения напряжения и тока, измеряемые приборами.

Как видно из последнего выражения, мгновенная мощность состоит из двух слагаемых: из постоянной ча­сти *UI* cos ф, представляющей среднюю мощность за период, и переменной части *UI* cos(2oi^+<(), имеющей амплитуду *UI* и изменяющейся по гармоническому зако­ну с двойной частотой. Среднее значение этой состав­ляющей мощности за период равно нулю. Таким обра­зом, измеряемая ваттметром мощность равна:

*P=UI cos (р.* (12)

Возвращаясь к формуле (11) и заменяя в ней мгно­венные мощности действующими (12), получаем:

*Pi + Pz=l\Ui* cos <pi+/2ТУ2 cos Ф'г+^з^з cos фз=*Р.* (13) Итак, мощность уравновешенной трехфазной системы (не имеющей нулевого провода) независимо от величи­ны нагрузки отдельных фаз и сдвига фаз, а также неза­висимо от порядка следования фаз может быть изме­рена двумя ваттметрами, включенными по схеме рис. 3,а.

Включая ваттметры таким нее порядком в другие фазы (см. рис. 3,г), можно показать, что результаты измерений не изменятся. [[1]](#footnote-2) [[2]](#footnote-3)

В частном случае при симметричной и равномерной нагрузке фаз мощность, измеряемая первым ваттметром, как это следует из векторной диаграммы, равна Л = = /iL/12cos(30°+<p). Второй ваттметр измеряет

*Р***2 = 72С7з2 COS (30°—ф) .**

Сумма показаний ваттметров дает мощность трех­фазной системы. Действительно, С/12=Ь'з2=1/ и /1=/3=/. Следовательно,

*Р = Рг + Ръ = IU* [cos (30° + ?) + cos (30° — у)] =

= Л7-2 cos30°cos<p = )/r37L/cos<p. (14)

**Зависимость показаний ваттметров от величины cos <р.** Посмотрим, как изменяются показания ваттметров при изменении соэф нагрузки, но при неизменных напряже­ниях и равномерной нагрузке фаз. Для этого, подстав­ляя в выражения *Р{* и P2 (14) разные значения угла **ф,** в пределах +90° ±—90°, мы получим графическую зави­симость показаний каждого ваттметра щ и аг и их сум­мы сц + а2 от соэф как для индуктивной, так и емкостной нагрузки. Эта зависимость приведена на рис. 4.

Отметим характерные показания ваттметров.

**а)** При созф=1 показания обоих ваттметров равны между собой и составляют 86,6% от полного отклонения стрелки каждого ваттметра (в ваттах или делениях-шка­лы), соответствующего созф=1 в однофазной схеме при тех же значениях тока и напряжения.

б) При cos 0,5 показания первого ваттметра, включенного на отстающую фазу \*, равны нулю, так как угол сдвига между напряжением, приложенным к ватт­метру *Ui2,* и током нагрузки *I* равен 30°+60°=90°, а соэ90°=,0. Второй ваттметр, включенный на опережаю­щую фазу *U22,* даст 86,6% полного отклонения.

1 Направление вращения векторов трехфазной системы приня­то против часовой стрелки. Из двух векторов, следуемых друг за другом, опережающим будщ тот, который раньше пересечет ось абсцисс х (см. рис. 3,6). Так, например, при порядке следования фаз Ui, U2, U3 из двух векторов Ui и (72 опережающим будет и отстающим t?2; для векторов 178 и 1Л опережающим будет 173 и отстающим щ и т. д.

изменить на обратную и при вычислении мощ­ности показания этого ваттметра брать с от­рицательным знаком, т. е. не прибавлять, а вычитать.

в) Если cos ср меньше 0,5, то угол между напряже­нием и током ваттметра *WY* становится больше 90° и его стрелка отклоняется влево. В этом случае полярность

ваттметра надо при помощи переключателя полярности

г) При cos<p=\*0 по­казания обоих ватт­метров равны между собой и составляют 50% полного (для каж­дого ваттметра), но противоположны по знаку.

Так как измерения большей частью произ­водятся при cos ф, меньшем 1 (обычно в пределах cos<p = 0,7— 0,8), то показания ватт­метров всегда будут различны. Например, при cos<p=0,85 один из ваттметров (второй) покажет 100%, а дру­гой (первый) всего 50%, т. е. показания одного ваттметра бу­дут вдвое больше по­казаний другого.

Попутно можно от­метить, что схема двух

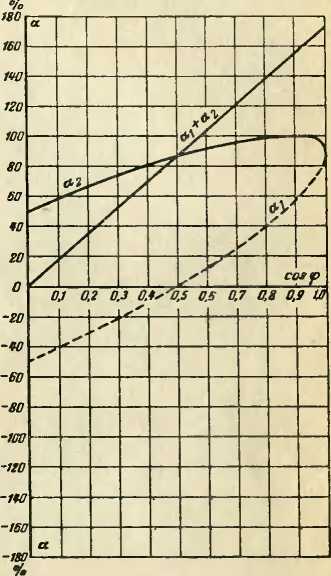
можность достаточно надежно измерять активную мощность обычными ваттметрами и при низких зна­чениях coscp нагрузки. Это следует из кривых рис. 4, от­куда видно, что при значениях cos ср, близких к нулю,и напряжении составляют примерно 50% полного откло­нения.

Рис. 4. Изменения (показаний двух ваттметров в зависимости от измене­ния cos (f при измерении активной мощности. Кривые изображены для индуктивной нагрузки. При емкост­ной нагрузке необходимо переставить обозначения щ и с^.

ваттметров дает воз­

отклонения стрелок ваттметров при номинальных токах

**Определение cos ср нагрузки по показаниям ваттметров.** Своеобразная зависимость показаний ваттметров от cos q: дает возможность определять его по показаниям ваттметров *Pi* и *Р2* в частном случае симметричной и равномерной .нагрузки. Чтобы доказать это, вспомним, во первых, что tgtp=-^-[cM. формулу (7)]. Во-вторых (см. .ниже), разность показаний ваттметров при равно­мерной и симметричной нагрузке фаз, умноженная на ]/3, измеряет реактивную мощность

0=/3(Л-Р2).

(15)

*И* наконец, отметим, что сумма показаний ваттметров измеряет активную мощность *Р* [см. формулу (13)]. Со- \_ р jp поставляя (7), (13) и (15), видим, что tg<р = [/3 -р2 , ‘, **\* 1 i \* 2** или после тригонометрического преобразования оконча­тельно имеем

*Р\* **“р** *Р 2*  **а1 “F а2**

(16)

2 *Р%—Р \Р***2 “F/^2 ai — aict2 “F а2**

Формула (16) показывает, что costp может быть определен по показаниям ваттметров си и аг.

Для практического определения коэффициента мощ­ности в процессе измерения мощности удобно пользо­ваться графической зависимостью отношения показаний Р, а.

ваттметров от значения соэ<р, приведенной на

рис. 5.

Кривая составлена по приведенным выше соотноше­ниям для однотипных ваттметров (г. е. имеющих одина­ковую постоянную) для ai, меньших аг, при симметрич­ной и равномерной нагрузке и синусоидальной форме тока. Если значение — отрицательно, то отсчет произ­водится в нижней (отрицательной) ветви кривой. При­менение кривой рис. 5 иллюстрировано в примере 1 § 2.

К некоторым недостаткам схемы двух ваттметров относятся относительная сложность схемы, особенно

**Измерение активной мощности при сложной асимметрии.** Правиль ное измерение мощно­сти в трехфазных че­тырехпроводных уста­новках возможно толь­ко по схеме трех ватт­метров, включенных в каждую фазу (рис. 6).

применительно к установкам высокого напряжения с использованием трансформаторов тока и трансформа­торов напряжения, и большая вероятность ошибочных соединений.

/ЗЗОРЦ

Общая мощность установки независимо от чередования фаз равна:

Р = Р1 + Р2+РЯ1 (17) где *Pi, Р2* и Рз—мощ­ности, измеренные каждым ваттметром.

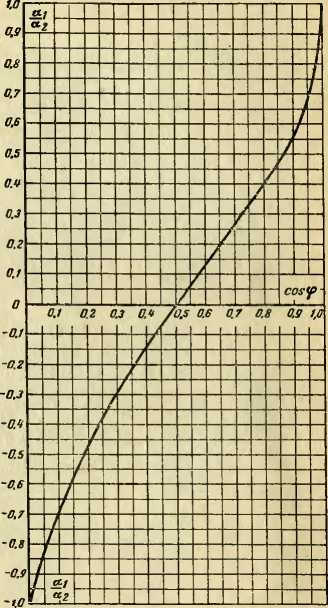
**Принцип измерения реактивной мощности.** Реактивная мощность в трехфазных установ­ках измеряется обыч­ными переносными ла­бораторными или тех­ническими ваттметра­рения реактивной мощ­

Рис. 5. Определение cos <р по отноше­нию показаний двух ваттметров ai/ar

ми, градуированными при cos<p='l, но по специальным схемам включения. Для изме-

ности в одной фазе должен применяться специальный, так называемый синусный ваттметр.

Характерной особенностью всех схем измерения реактивной мощности является необходимость получе­ния сдвига в 90° между током и напряжением ваттмет­ра, чтобы при cos<p=l (sin<p=O) показание ваттметра было равно нулю, а пои соэ<р = 0 (sin<p=l) было макси-

2—475

Канвц

Г\*55

ь И. ДЕНЧ 'Ч

мальным. В синусных ваттметрах это достигается путем применения специальных схем для получения сдвига в 90° между напряжением.сети и током в цепи напряже-

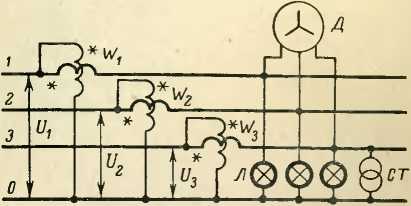


Рис. 6. Измерение мощности в трехфазной че- тцрехпроводной сети

*Г —* генератор; *W* —» ваттметр; *Д —* двигатели; *Л —* лам­пы освещения; *СТ —* сварочные трансформаторы.

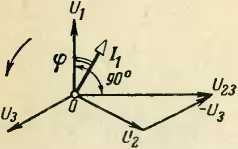
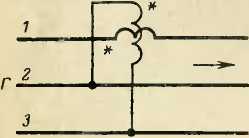


Рис. 7. Измерение реактивной мощности трехфазной установ­ки без нулевого провода при симметричной и равномерной нагрузке фаз одним косинус­ным ваттметром.

ния ваттметра. Работа этих схем зависит от частоты сети, и они широкого распространения не получили.

В трехфазных установках получение сдвига в 90° до­стигается путем сопряжения тока ваттметра с соответ­ствующим линейным напря­жением, имеющим сдвиг 90° по отношению к фазному напряжению.

**Измерение реактивной мощности при полной сим­метрии.** На рис. 7 изображе­на простейшая схема изме­рения реактивной мощности трехфазной уст аьовки без нулевого привода для слу­чая равномерной и симмет­ричной нагрузки фаз при помощи обычного (косинус­ного) ваттметра. Там же да­на векторная диаграмма, из которой видно, что для при­нятого чередования фаз *1,2, 3* в токовой цепи ваттметра протекает ток *h* фазы /, имеющий сдвиг <р относи-

тельно фазного напряжения *U\* той же фазы, а к цепи напряжения подведено линейное напряжение *U2—Us =* ='П23, отстающее от фазного напряжения *U\* на угол 90°. В этом случае ваттметр измеряет мощность

Qi =/1 0'23 со&(90°—<р) *=IU* sin <р.

Реактивная мощность трехфазной установки [см. формулу (3)] равна:

Q = /3Q1. (18)

Широкое применение для измерения реактивной мощ­ности при равномерной нагрузке фаз находит схема двух ваттметров для измерения активной мощности. Чтобы убедиться в том, что двумя ваттметрами, включенными по схеме Арона, можно измерять реактивную мощность, следует, во первых, воспользовавшись векторной диа­граммой на рис. 3,6, записать, что разность показаний ваттметров равна:

Р2—Pi = 7£/[cos(30°—<р)—соэ(300+<р)]=

*—IU •* 2sin 30° sin<p = W sirup.

Во-вторых, нужно сравнить эту запись с формулой (3), и тогда получим, что реактивная мощность трехфазной установки равна:

Q=V3(P2-P1)- (19)

Основное удобство схемы двух ваттметров заклю­чается в том, что она одновременно используется для измерения и активной и реактивной мощности. Однако не надо забывать, что результаты измерений реактивной мощности правильны лишь при равномерной на­грузке и при отсутствии нулевого про­вода.

**Измерение реактивной мощности при простой асим­метрии.** При измерении реактивной мощности трехфазной установки без нулевого провода и при неравномерной нагрузке фаз, но при симметрии фазовых напряжений (простая асимметрия) большое распространение нашла схема двух ваттметров с искусственной нулевой точкой (рис. 8).

Ваттметры и IF2 должны иметь одинаковое внут­реннее сопротивление цепей напряжения. Схема дает 2\* 19Правильные результаты для порядка следования фаз, указанного на векторной диаграмме При включении ваттметров необходимо обращать внимание на правиль­ность присоединения генераторных зажимов ваттметров (отмеченных звездочками) в соответствии с принци­пиальной схемой.

Из векторной диаг­раммы следует, что пер­вый ваттметр измеряет мощность

Р1 = /1(7озХ.соз(60“—ср) =

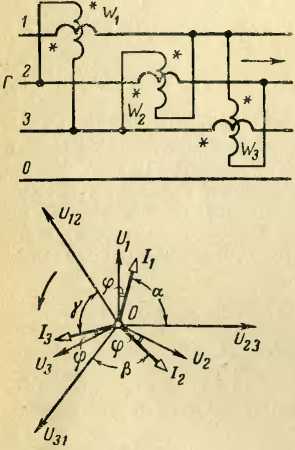
= /1<7ф sin (30° 4-ф).

Рис. 8. Измерение реактивной мощности по схеме двух ваттмет- ров с нулевой точкой.

*Wi* и VT2 — однотипные ваттметры; *г —  
сопротивление,* равное по величине со-  
противлению цепи напряжения каж-  
дого ваттметра.

Второй ваттметр изме­ряет

В2=— Л tAoCOs (120°—q) -

= /317ф sin(30°—ср).

Сумма показаний обо­их ваттметров (с учетом знака показаний), умно­женная на КЗ, дает зна­чение реактивной мощ­ности

*Q* = /3 [Л^Ф sin (30° 4-

+?) + /Лф sin (30° — ?)]=

= /3(Л + Р2). (20)

**Зависимость показа­ний ваттметров от** cos<p При равномерной нагрузке фаз, т. е при /1 = /2=/3,

Q = /3 (/С7Ф /3sin’?)= /3/L7 sin ?, (21)

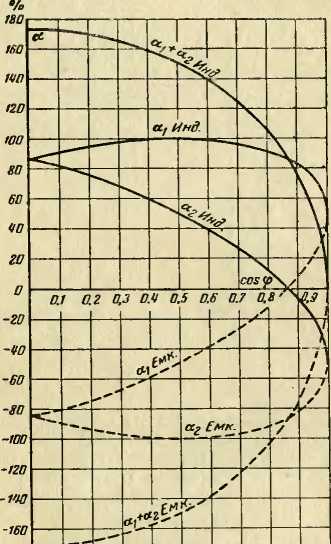
так как ]/ЗПф = П.

Из формулы (21) следует, что при неизменных на­пряжениях и равномерной нагрузке фаз показания ватт­метров изменяются в зависимости от величины угла ф.

Показания обоих ваттметров одинаковы только при созф = 0 (sinq>=l). При со&ф=1 (sinq)=0) показания ваттметров равны по величине, но противоположны по знаку. При со5ф=0,86 (БП1ф'=0,5) показания одного из 20

Ваттметров (второго) равны нулю, а другого (первого) положительны.

На рис. 9 приведена графическая зависимость пока­заний каждого ваттметра и суммы их показаний в зави-



**%**

Рис. 9. Изменения показаний двух ваттметров в зависимости от измене­ния cos ср при измерении реактивной мощности. Сплошные кривые — для индуктивной нагрузки; пунктирные — для емкостной.

симости от изменения cosq> при неизменных номиналь- ных токах и напряжениях. Сплошные кривые соответ­ствуют индуктивной нагрузке, пунктирные — емкостной.

Кривая на рис. 10 дает возможность при равномер­ной нагрузке фаз по показаниям ваттметров определять costp нагрузки.

В трехфазных трехпроводных, а также п четырех­проводных установках с неравномерной нагрузкой фаз (но при симметрии фазных напряжений) применяется схема трех ваттметров, изображенная на рис. 11.

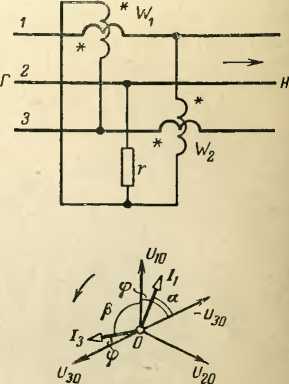
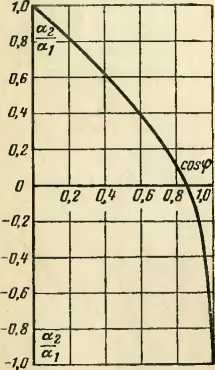


Рис. 10. Определение cos (р по отношению ai/ct2.

Рис. 11 Измерение реактивной мощ­ности в трехфазной четырехчровод- ной сети с неравномерной нагрузкой фаз, но симметричной звездой фаз­ных напряжений.

Из векторной диаграммы, изображенной на том же рисунке, следует, что каждый ваттметр измеряет мощ­ность

*Q = IU* cos'(90°- <р) = *IU* sin <р.

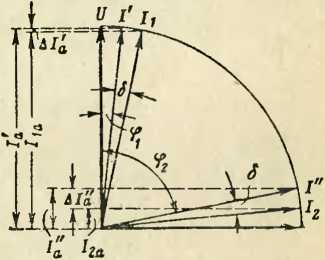
Общая реактивная мощность, очевидно, равна сумме показаний всех ваттметров, деленной на j/3, так как каждый ваттметр измеряет в /3 раз больше мощности каждой фазы

г, Qi ~Ь Qz ~Ь Оз

/3

При равномерной нагрузке фаз, так как Qi = Q2 = = Q3 = Q'>

Q = ^=/3/17 sin?- (22)



**Измерение реактивной мощности при сложной асим­метрии.** При неравномерной и несимметричной нагрузке трехфазных четырехпроводных установок реактивная

Рис. 112. Векторная диаграмма, пока­зывающая увеличение погрешности измерения активной мощности при увеличении реактивной мощности.

то с уменьшением коэффициента мощности в измеряемой цепи, т. е. с увеличением реактивной мощности, влияние угловой погрешности измерительных трансформаторов

мощность может быть измерена только при помощи трех синусных ваттметров, включаемых по схеме, при­веденной на рис. 6.

**Измерение полной (кажущейся) мощности. Для изме­**рения полной мощности специальных приборов промыш­ленность не выпускает. Полная мощность обычно определяется как произведение изме­ренных токов напряже­ний в вольт-амперах или киловольт-амперах *(ва, ква).*

**Влияние реактивной мощности на измере­ние активной.** Если при измерении активной мощности используют­ся измерительные трансформаторы и, в частности, трансфор­маторы тока, имеющие угловую погрешность 6, на точность измерения возрастает непропорционально быстро. В этом можно убедиться, рассматривая вектор­ную диаграмму токов и напряжений для двух значений коэффициента мощности cos (pi и со&ср'г с учетом угло­вой погрешности трансформаторов тока. Векторная диа­грамма для этого случая изображена на рис. 12.

Для значения coscpt вторичный ток *Ц* трансформа­тора тока из-за угловой погрешности б сдвинут относи­тельно напряжения *U* на угол (q>i + 6). Погрешность в значении активной составляющей тока равна:

**Д/'а=Да—Ла = /' COS q>i—COS (ф1 + б) .**

Считая, что по коэффициенту трансформации трапс-

23

форматор тока не имеет погрешности и поэтому /' = Л> найдем:

л/'а = /l[coS (pi—COS (<Р1 + 6)] =

= /i(cos <pi—cos<pi cos 6+sin<pi sind).

Так как угол 6 всегда очень мал по величине (изме­ряется минутами), то можно принять, что cos6~l, a sin 6^6 (выражены в радианах). Тогда погрешность в измерении активной составляющей тока, обусловлен­ная угловой погрешностью трансформатора тока, будет равна:

A/'a = /'i & sin фр

Умножая обе части выражения на *U* и выражая по­грешность в процентах к действительному значению активной мощности *UI \* cos q>, а также выражая угол 6 в минутах[[3]](#footnote-4), получим погрешность в измерении активной мощности

*ЬР' \_* ~~^1-0.0002918 sin у,-100~~ **^0 02918 f pyj** *UI***I COS у>! о 11 I ЛИ**

Как видно из полученного выражения, погреш­ность *ЛР[* прямо пропорциональна отношению реактив­ной и активной мощности, так как tg<pi = Q/P. Из век­торной диаграммы рис. 12 видно, что если при том же значении тока *l\=Iz* угол сдвига увеличивается со зна­чения ф1 до значения <р2, то Д/"а и, следовательно, *\Р"* быстро увеличиваются.

Так, например, измеряя мощность потерь холостого хода трансформатора при cos<p=0,l (<р~85°) и применяя трансформаторы тока даже класса точности 0,5, для ко­торых наибольшая допустимая угловая погрешность равна 40', мы будем иметь недопустимо большую по­грешность в измерении активной мощности, обусловлен­ную только угловой погрешностью трансформатора тока, равную:

ДР=0,0291 -40'tg 85°=0,0291 -40'-14,3«17%.

Как видно из примера, при измерении активной мощ­ности с использованием .измерительных трансформато­ров точность измерения при увеличении реактивной мощности понижается вплоть до недопустимых значений при tg<p> 10.

**Измерение мощности постоянного и выпрямленного токов.** При проведении различных испытаний машин по­стоянного тока, а также ь других случаях необходимо измерять мощность постоянного тока. Как правило, мощность в цепях постоянного тока измеряется путем измерения тока и напряжения, произведение которых дает значение мощности в ваттах. Однако для измерения мощности могут применяться также переносные электро­динамические ваттметры, шкала которых градуируется при cos<p=l.

При измерении мощности в цепях выпрямленного переменного тока (например, при испытании силовых выпрямительных устройств в цепях ионного возбужде­ния машин и т. п.) необходимо правильно выбирать приборы. Дело в том, что магнитоэлектрические ампер­метры и вольтметры (пригодные только для постоянного тока) измеряют средние значения тока и напряжения. В отличие от них электромагнитные и электродинамиче­ские амперметры и вольтметры (пригодные как для по­стоянного, так и для переменного тока) измеряют дей­ствующие значения тока (эффективные, средние квад­ратичные) .

Из сказанного вытекает следующее:

1. При включении в цепь постоянного тока, источни­ком которого служит, например, аккумуляторная бата­рея или вращающийся генератор постоянного тока, по­казания магнитоэлектрических и электромагнитных или электродинамических приборов будут одинаковы, пото му что для хорошо сглаженного постоянного тока сред­нее, эффективное и амплитудное значения одинаковы.
2. Если измерять выпрямленный синусоидальный ток без сглаживающего фильтра амперметром магнито­электрической системы и амперметром электромагнит­ной системы одного и того же класса точности, включен­ными последовательно в цепь, то показания их будут различны.

Действительно, для синусоидального двухполупери- одного выпрямленного тока среднее значение равно: у \_2£^=0,637/макс,

а действующее значение того же тока

**у /макс Q 7П7/**

***у~2 —*и>'и//макс-**

Значит, показания электромагнитного амперметра будут на 11% больше показаний магнитоэлектрического амперметра, так как 0,707 : 0,637 ■ Ш0% = 11 %.

При измерении мощности в цепях выпрямленного переменного тока необходимо применять амперметр и вольтметр электромагнитной или электродинамической системы. Приборы измеряют действующее значение пульсирующего тока и 'напряжения. Весьма целесообраз­но в таких случаях измерение мощности производить непосредственно ваттметром.

Ниже рассматриваются практические схемы измере­ния мощности переменного тока применительно к раз­личного рода испытаниям электрооборудования. В каж­дом отдельном случае даны указания по выбору при­боров и оценке результатов измерения. В конце брошю­ры приводятся сведения по осциллографированию мощ­ности.

1. ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ  
   ТРЕХФАЗНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Измерение мощности генераторов производится глав­ным образом при тепловых испытаниях и определении коэффициента полезного действия (к. п. д.) генератора или первичного двигателя.

Для трехфазных генераторов высокого напряжения, работающих на трехфаэную сеть без нулевого провода, наибольшее применение получила схема двух ваттмет­ров— схема Арона.

Схема трех ваттметров в основном применяется при ■измерении мощности трехфазных генераторов низкого напряжения с нулевым проводом, где схема двух ватт­метров неприменима. Кроме того, схема трех ваттметров иногда применяется при точных измерениях мощных генераторов высокого напряжения.

**Схема двух ваттметров.** Полная схема **двух** ваттмет­ров для измерения мощности генератора высокого на­пряжения приведена на рис. 13. На схеме звездочкой 26

отмечены генераторные зажимы ваттметров. Однопо­лярные зажимы первичных и вторичных обмоток изме­рительных трансформаторов обозначены в соответствии с ГОСТ[[4]](#footnote-5).

Собранную схему измерений перед включением нуж­но тщательно проверить и убедиться в том, что она точ­но соответствует принципиальной схеме. Необходимость проверки особенно важна, так как возможно большое количество неправильных соединений в схеме, которые по показаниям приборов трудно обнаруживаются, но приводят при измерениях к ложным результатам.

Если используется существующая схема измерения мощности и лабораторные приборы включаются в цепи щитового трехфазного ваттметра, то необходимо убе­диться в правильности этой схемы. При равномерной нагрузке фаз (что обычно имеет место у мощных гене­раторов) для проверки схемы нужно у щитового ватт­метра поменять местами провода цепей напряжения крайних фаз *1* и *3.* Если схема правильна, то при пере­ключении указанных проводов стрелка ваттметра долж­на показать нуль.

При длительных испытаниях машины целесообразно предусмотреть двухполюсный рубильник *Pi* для закора­чивания токовых цепей ваттметров и трехполюсный рубильник *Р2* для отключения цепей напряжения, как это указано на схеме.

Измеряемая мощность определяется по выражению

P = K(ai + a2),

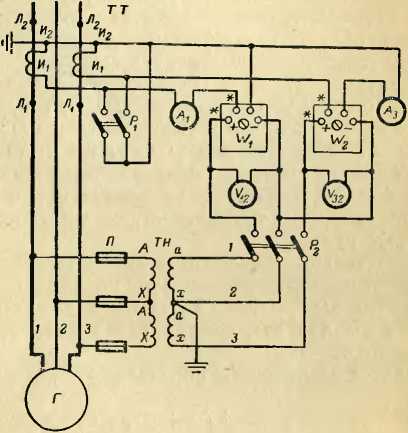
где at и —показания однотипных ваттметров в де­лениях шкалы.

Постоянный коэффициент *К* подсчитывается предва­рительно, исходя из значений коэффициентов трансфор­

мации измерительных трансформаторов и постоянной ваттметра, по выражению

Д’ —CBTfeTTfeTH-10~3 *[квт[1°],*

где Свт — постоянная ваттметра (цена деления, вт); &тт и &тн — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и трансформаторов напряжения.



*н*

Рис. 13. Схема двух ваттметров для измерения мощности генераторов высокого напряжения.

*Г —* генератор, мощность которого измеряется; *ТТ —* трансформаторы тока; *TH —*трансформаторы напря­жения; *П —*. предохранитель; *Pi —* рубильник для за­корачивания токовых цепей приборов; Р2 — рубиль­ник для отключения цепей напряжения приборов.

ми измерений мощности ваттметрами класса 0,5

28

В зависимости от целей испытаний и необходимой точности измерений выбирается класс измерительных приборов и решается вопрос о необходимости примене­ния лабораторных трансформаторов тока и трансфор­маторов напряжения.

В большинстве случаев удовлетворяются результата­

с использованием имеющихся в установке измеритель­ных трансформаторов класса 0,5.

Пределы измерения ваттметров по току и напряже­нию должны в этом случае соответствовать номиналь­ному вторичному току трансформаторов тока 5 а и но­минальному вторичному напряжению трансформаторов напряжения 100 *в.* При отсутствии таких ваттметров можно применить ваттметры с пределами 2,5—5 *а* и 150- ЗЭО *в,* например типа Д 527/3 или Д 529/4 тоже с пределом по напряжению 150 вит. п., хотя отклоне­ние стрелок у этих ваттметров будет меньше.

**Пример 1.** Измеряется мощность генератора типа Т2-25-2 31 250 кеа, 6 300 в, cos»H = 0,8. Используются имеющиеся в уста- 3000

новке трансформаторы тока — g—• а и трансформаторы напряжения 6 000

~~00"~~ в класса точности 0,5.

Применены два лабораторных ваттметра 0,5 с номинальным током 5 а и номинальным напряжением 100 в, число делений шкалы 100.

Определяем постоянную ваттметра

/,ДН\_5-100

с,

100'= 5 вте/1 •

Вычисляем коэффициент К, на который надо умножить пока­зания каждого ваттметра, отсчитанные в делениях

3 000 6 000

К — СвтйттйтнЮ-’ =5- —g 10б~ Ю-’= '^0 квт/\°.

При одновременном отсчете показания первого ваттметра — = 33,5° и показания второго а2 = 82°. Оба показания лежат в по­ложительной области (переключатели цепи напряжения обоих ваттметров установлены на прямую полярность, отклонения стре­лок по часовой стрелке). Тогда измеряемая мощность

Р = К («1 + «2) = 180 (33,5 + 82) = 20 790 кет.

Так как нагрузка генератора практически равномерна, то зна- а1 чение cos <р определяем по кривой рис. 5. В нашем случае —

\_ 33,5\_

g2—0,41 чему по кривой соответствует cos = 0,81.

С большим успехом может быть использован трех­фазный ваттметр типа Д 558 класса 0,2 с пределами измерения 5 fl u W0 *в,* собранный по схеме двух ватт­

метров. Преимущество этого ваттметра в том, что отсчет производится лишь по одному прибору, что повы­шает точность измерений. Недостаток — невозможность определять значение cos ср по отношению показаний отдельных ваттметров. В этом случае коэффициент мощ­ности определяется по общеизвестной формуле

р

cos ф = ——

Гзш ’

где *Р —* в киловаттах (кет);

*I —* в амперах (а);

*U —* в киловольтах *(кв).*

**Проверка режима измерительных трансформаторов.** При использовании установленных измерительных трансформаторов надо проверить режим их работы, так как погрешности трансформаторов тока и трансформа­торов напряжения зависят от нагрузки их вторичных обмоток и с увеличением нагрузки увеличиваются. Ины­ми слова'ми, перед включением комплекта лабораторных приборов необходимо проверить степень нагрузки изме­рительных трансформаторов.

Нагрузка трансформаторов тока оцени­вается путем приближенного расчета и для обычного случая включения трех трансформаторов тока в звезду с нулевым проводом определяется по выражению

Ztt = а'-рГпр+Гконт, (23)

где *z —* суммарное сопротивление токовых цепей всех приборов, включенных на данный трансформа­тор тока;

— сопротивление провода в один конец1;

гКОНт— суммарное сопротивление контактов (прини­мается 0,05—0,1 *ом).*

Для простоты подсчетов составляющие нагрузки складываются арифметически.

При соединении трансформаторов тока в неполную звезду с нулевым проводом нагрузка трансформаторов тока определяется по выражению

z-|\_ г|;рг1(Ом- (23')

Необходимо, чтобы с учетом сопротивления токовых цепей лабораторных приборов нагрузки трансформато 30

ров тока не превосходили номинального значения (в омах) для своего класса точности, т. е.

zTT = -fe-> ([[5]](#footnote-6))

где Р„— номинальная мощность (ва) трансформатора тока с вторичны.м током 5 *а* для класса 0,5.

Если в установке имеются трансформаторы тока с отдельными малонагруженными сердечниками (для измерений 'или учета энергии), то лабораторные при­боры присоединяются к обмоткам этих сердечников.

При включении приборов на действующей установке запрещается под нагрузкой размыкать вторичные цепи трансформаторов тока во избежание поражения высо­ким напряжением, индуктируемым при разрыве тока во вторичной обмотке, и из-за опасности пробоя изоляции вторичной обмотки трансформатора тока.

Нагрузка трансформаторов напряже­ния также может быть оценена путем подсчета. Если мощность трансформатора равна *Ра [ва]* для класса 0,5, то предельная нагрузка на фазу определяется в за­висимости от схемы соединения трансформаторов из следующих соотношений.

1. При соединении двух однофазных трансформато­ров по схеме открытого треугольника

(25)

1. Для трехфазного трансформатора .напряжения общей мощностью *Рп*

РФ = -Р3’-. (26)

1. Для однофазных трансформаторов, соединенных в звезду:

Рф = РЕ. (27)

Пример 2. Мощность генератора с параметрами, приведенными в примере Ф, измеряется "Трехфазпым лабораторным ваттметром классса 0,2 (типа Д 358) ic пределами измерения 15 а и 1100 в, число делений шкалы 1100.

Постоянная ваттметра равна

**Свт =** 2

1кив 5-100 \_  
а„ ~2' 100

10 вт/1°

(здесь коэффициент 2 учитывает наличие двух измерительных эле­ментов ваттметра)

Коэффициент К, на который надо умножить показания .ваттмет­ра в делениях, равен:

3 000 6 000

К = СВТ6ТТ6ТН 10-3= 10-—& >0-’ = 360 квт/\°.

11роверяем степень нагрузки измерительных трансформаторов.

Установленные трансформаторы тока типа 1 ПШФА имеют .пре­дельную мощность сердечника при классе 0,5, равную 30 ва, чему [со­гласно формуле (24)] соответствует (допустимое сопротивление на фазу ковые обмотки амперметра, ваттметра активной .мощности, счетчика активной энергии и счетчика реактивной энергии. Длина соедини­тельного провода в один конец между трансформаторами тока и панелью ic приборами около Г50 м, сечение провода 4 мм2 (медь).

Рн\_\_30

2тт = 7г 25 ~ ом- R Цег,ь трансформатора тока включены то-

1 н

Полагая собственное потребление мощности токовыми цепями приборов в среднем по 1 ва .на прибор, будем иметь сопротивление всех приборов

Р„ 5

z = -р- = 25 = 0,2 ом.

Сопротивление провода

I 150

гпР= 0,0175— =0,0175-^- =0,65 ом,

где / — длина провода, м;

q — сечение провода, мм2.

Сопротивление контактов принимаем гКопт=0Д ом и, следова­тельно, реальная нагрузка на каждый трансформатор тока соглас­но формуле (32) равна Ztt=0,2+0,65+0,4 =0,у5 ом.

Сопротивление токовой цепи лабораторного ваттметра и схемы не превышает 0 05 ом. Значит, общая нагрузка на трансформатор тока при измерении мощности .составит примерно 1 ом, что меньше предельной мощности сердечника для класса 0,5.

32

Трансформаторы напряжения типа НОМ-6, -gg— в имеют мощность 30 ва при классе точности 0,5 и соединены по схе­ме открытого треугольника. Допустимая нагрузка на фазу опреде­ляется

Р„ 30

по формуле (25) и составляет Р$ — ~гг~~ —— — 17,3 па.

I 3 у 3

Полагая потребление цепей напряжения: вольтметра 6 ва. ватт­метров активной и реактивной энергии в среднем по 2 ва и счетчи­ков .активной и реактивной энергии по 2,5 ва, определим реальную нагрузку на фазу Р=6-Н2+2 +2,5+12,5=115 ва, что ниже допусти­мого значения для класса 0,5.

Таким образом, поперечный 'расчет показал, что измерительные трансформаторы не перегружены и по точности не должны выхо­дить за пределы класса 0,5.

■Если прикидочный .расчет показывает, что измерительные транс­форматоры перегружены, то рекомендуется повторить расчет с при­менением точных данных потребляемой мощности приборов или же определить нагрузки измерительных трансформаторов путем изме­рения тока и напряжения.

При измерении мощности отсчитано показание ваттметра а= =57,8°.

Тогда 7->=Кп=360-57,8=20 808 кет.

Одновременно были измерены ток статора /=2 380 а и папря-

20 808 жснис /7 = 6 300 в и определен cos f ——т= = 0,805.

у 3 ■ 2 380 • 6,3

При испытании генератора заданный режим по на­грузке и cosq; поддерживаются по ваттметрам и опреде­ляются по кривой рис. 5, где си — показания ваттметра, дающего меньшие показания, и аг— показания ваттмет­ра, дающего большие показания.

Контроль за напряжением и токовой нагрузкой по фазам производится шо вольтметрам и амперметрам, причем класс точности их может быть ниже класса точ­ности ваттметров (могут быть использованы и щитовые приборы), 'поскольку их показания при определении мощности не используются.

Следует подчеркнуть необходимость одновременного отсчета показаний по обоим ваттметрам при устойчивой нагрузке. При особо точных измерениях мощности (определение к. п. д. или исследование машины) применяются проверенные непосредственно перед изме­рением лабораторные ваттметры класса 0,2 или 0,1, про­веренные лабораторные трансформаторы тока не ниже 3— 475 33

класса 0,2 с изоляционными втулками на соответствую­щее напряжение и проверенные лабораторные транс­форматоры напряжения не ниже класса 0,2.

Изоляция лабораторных измерительных трансформа­торов должна быть проверена в соответствии с дейст­вующими нормами. Установка лабораторных трансфор­маторов должна выполняться с соблюдением действую­щих правил техники безопасности и соблюдением габа­ритов согласно Правилам технической эксплуатации. Трансформаторы напряжения должны подключаться после высоковольтных предохранителей имеющихся трансформаторов напряжения.

**Учет погрешности ваттметров и измерительных транс­форматоров.** Для повышения точности измерения в от­дельных случаях учитываются погрешности ваттметров и измерительных трансформаторов, даваемые в протоко­лах их поверки (см. также § 9).

Действительное значение измеренной мощности опре­деляется по выражению



+(«а4Л)

(28)

где 6j и 62 — поправки ваттметров с учетом знака согласно протоколам их поверки;

fTT, f"TT, fTH, *f"TH—* погрешности в процентах по коэф­фициенту трансформации трансфор­маторов тока и трансформаторов на­пряжения согласно протоколам по­верки;

*f* и — результирующие угловые погрешно­сти измерительных трансформаторов, °/о-

Если мощность измеряется при l,0>cos<p>0,5, то показания обоих ваттметров при равномерной нагрузке фаз не равны между собой и результирующие угловые погрешности измерительных трансформаторов в процен­тах, подставляемые в расчетную формулу, определяются по следующим выражениям.

1. Для ваттметра с меньшими показаниями

Гг = 0,0291 (8'т - 8'н) tg (-30° + <р). (29)

1. Для ваттметра с большими показаниями

Г8= 0,0291 (8'н - 8'т) tg (30° - <р), (30)

где бн и бт— угловые погрешности трансформаторов на­пряжения и трансформаторов тока в ми­нутах согласно протоколам для данной нагрузки.

**Пример** 3. Мощность генератора типа Т2-25-2 должна быть измерена с возможно большой точностью. Для этого установлены 3 000 лабораторные трансформаторы тока класса 0,5 —g— а и лабора- 6 00° „„ п

торные трансформаторы напряжения ~-~~|qq~~ в класса 0,2. Ваттметры взяты класса 0,2 с пределами измерения 5 а и 100 в со шкалой 100 делений. Поправки ваттметров малы, и их не учитываем. По­грешности измерительных трансформаторов согласно протоколам их поверки приведены в табл. 1.

5-100 3 000 6 000

Вычисляем б’вт= “jqq- = 5 в/и/1°; К = 5-—g ГбО~ =

= 180 квт/\°.

При измерений имеем «1 = 33,5° и а2 = 82°. Тогда

Р = 180 (33,5 + 82) = 20 790 кет и cos <р 0,81 (см. пример 1).

По тригонометрическим таблицам находим <р =5= 36°. Определяем результирующие угловые погрешности измерительных трансформа­торов.

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Измерительный трансформатор | Погрешность по току и напряжению соответственно, % | Угловая погрешность, *мин* |
| Трансформатор тока, фаза *1 . .* | +0,35 | +30 |
| То же, фаза *2*  Трансформатор напряжения, фа­  за *1* | +0,25 | +15 |
| +0,15 | +ю |
| То же, фаза 2 | +0,10 | +S |

Для ваттметра с меньшими показаниями по формуле (29): = 0,0291 (30' — 10') tg (30° + 36°) = 1,28°/о.

Для ваттметра с большими показаниями по формуле (30): f"8 = 0,0291 (5' — 15') tg (30° — 36°) = 0,04»/о.

Тогда действительное значение измеряемой мощности по фор­муле (28):

Г / 0,35 + 0,15+ 1,28\ ,

ря = 180 [33,5 - ~1(Х) J +

0,25 + 0,1 +0.04

100

= 20 600 кет.

Сопоставляя результаты измерения мощности одного и того же генератора по примерам 1 и 3, можно увидеть, что введение поправок на измерительные трансформаторы уточняет результаты измерений.

**Схема трех ваттметров для генераторов высокого напряжения.** При точных измерениях мощности больших генераторов может применяться схема трех ваттметров, имеющая некоторые преимущества перед схемой двух ваттметров, хотя и требующая большего количества приборов.

Специфическим для схемы двух ваттметров является неудобство в наблюдении за нагрузкой отдельных фаз, а кроме того, возникновение угловой погрешности уже при cos<p = l, так как к ваттметрам при этом подводятся токи и напряжения, сдвинутые на 30°. При точных измерениях по схеме двух ваттметров нельзя не учиты­вать также угловой сдвиг между линейным напряже­нием на зажимах трансформаторов напряжения, вклю­ченных по схеме открытого треугольника, и на зажимах ваттметров. Этот сдвиг у зависит от сопротивления *г* соединительных проводов цепей напряжения и от тока нагрузки трансформатора напряжения и может дости­гать нескольких угловых минут. Приближенно он может быть определен по выражению

= 0,017г. (31)

Кроме того, в схеме двух ваттметров при значениях costp нагрузки, близких к 0,5, и токах, даже близких к номинальным, показания одного из ваттметров лежат в начале шкалы, где отсчет менее точен. Так, например, для ваттметра класса 0,5, имеющего шкалу 150 деле­ний, наибольшая допустимая абсолютная погрешность 150-0,5 п\_\_

равна —™— =0,75 деления, чго следует из опре-

деления класса точности прибора \*. Значит, три неболь­ших отклонениях стрелки ваттметра, например на деле­ние 30, возможная погрешность *F* ваттметра для изме­ряемого значения будет значительно выше погрешности, определяемой числом класса, и составит в данном слу­чае *F=0,5* =2,5%- Необходимо, однако, отметить,

что значительная погрешность относится к меньшей доле измеряемой мощности и поэтому не имеет решающего значения.

Схема трех ваттметров свободна от указанных недо­статков и дает правильные результаты измерения мощ­ности при всех возможных случаях нагрузки и при любом порядке чередования фаз. Отсчет может произ­водиться в правой части шкалы ваттметров, т. е. с наи­меньшими погрешностями. Дополнительная угловая погрешность, обусловливаемая сдвигом фаз напряжений, присущих схеме двух ваттметров, отсутствует. При сим­метричной и равномерной нагрузке показания всех ваттметров для любых значений cos ср одинаковы. При неравномерной нагрузке фаз схема дает возможность определить cosep отдельно для каждой фазы.

В то же время необходимо учитывать недостатки схемы трех ваттметров: третий ваттметр вносит в изме­рение свою погрешность; усложняется одновременный отсчет показаний; необходимо иметь большее количест­во приборов и измерительных трансформаторов. При измерениях в установках с низким cos ср необходимо применение специальных «малокосинуеных» ваттметров.

Полная схема измерения мощности тремя ваттметра­ми приведена на рис. 14. Так как цепи напряжения ватт­метров соединены в звезду, т. е. получают фазные на­пряжения трансформаторов напряжения (100:j/3)’ предел ваттметра, например, типа Д 529/4 по напряже­нию должен быть взят 75 *в.*

Мощность, измеренная по схеме рис. 14, равна: F=K(ai + ci2+ag),

где щ, аг, аз — показания ваттметров.

1 Класс точности прибора численно определяется допустимой погрешностью, выраженной в процентах от конечного (номиналь­ного) значения рабочей части шкалы прибора.

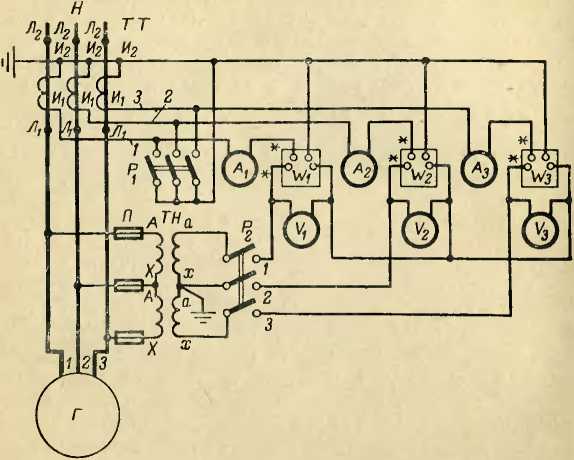
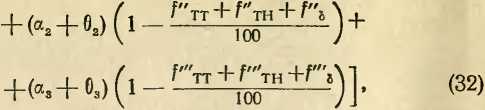


Рис. 14. Схема трех ваттметров для измерения мощности генера­торов высокого напряжения.

*Г —* испытуемый генератор; *ТТ —*-трансформаторы тока; *TH —* трансфор-  
маторы напряжения; *П —* предохранитель; *Р\ —* рубильник для закорачи-  
вания токовых цепей приборов; *Р2 —* рубильник для отключения цепей  
напряжения приборов.

Действительное значение измеряемой мощности с учетом погрешностей приборов и измерительных транс­форматоров может быть определено по выражению



гдр для каждой фазы

f5=O,O291(8T-84Hgr

(33)

Значение costp каждой фазы определяется по показа­ниям ваттметра, амперметра и вольтметра. Например, для фазы /

Да,  
COS<P>=W’

где Кщ — мощность фазы *1, кет;*

*It —* ток фазы *1, а;*

*Ut —* напряжение фазы /, *кв.*

Сравнительный анализ схемы двух ваттметров и схемы трех ваттметров показывает, что при равных условиях практически обе схемы по точности измерения равноценны и выбор той или иной схемы может опре­деляться лишь удобством измерений и наличием при­боров.

**Пример 4.** Требуется измерить с возможно большой точностью мощность турбогенератора типа ТВ2-100-2, 117 500 кеа, 13 800 в, cosy = 0,85.

В связи с отсутствием лабораторных трансформаторов тока вы- 5000

сокого напряжения —g— а было решено использовать незагружен­ные сердечники имеющихся в установке двухкериовых траисформа-

5 000

торов тока типа ТПШФА —g—а класса 0,5/0,5 при мощности 30 вл.

Эти керны предварительно были проверены на месте установки при помощи аппарата для поверки измерительных трансформаторов типа АИТ. В качестве образцового использовался проверенный кери 5000

трансформатора тока —g— а класса 0,5, погрешности которого по току и по углу были известны. Проверка для каждой фазы произ­водилась в режиме короткого замыкания генератора при токах, близких к номинальному.

Для измерения напряжения были установлены образцовые транс- „„„ ' 15 000

форматоры напряжения типа И-50 класса 0,1—foo-в\*

Была Применена схема трех ваттметров. Ваттметры взяты тиа ЭДВ/2 класса 0,2 с пределами 5 а, 75 в, шкала 300 мм но- ниусная, 75 делений (дающая возможность непосредственного отсчета до 0,1 деления).

„ 5 000 15 000

Вычисляем К = —g 100-5 ’1 = 750 кет!\

Погрешности измерительных трансформаторов приведены в табл. 2.

Таблица 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Измерительный трансформатор | Погрешность по току и напряжению, % соответственно | Угловая погрешность, *мин* |
| Трансформатор тока, фаза *1 . .* | +0,20 | + 10 |
| То же, фаза *2* | +0.10 | + 15 |
| „ фаза *3* | —0,10 | +5 |
| Трансформатор напряжение, фа- |  |  |
| за / . . . • | +0,05 | +15 |
| То же, фаза *2* | +0,1 | +ю |
| , , фаза *3 ..........* | +0,15 | +5 |

Результирующие погрешности измерительных трансформаторов по фазам ‘определяются исходя из значения cos у нагрузки, равного 0,85 (определено по щитовым приборам), чему соответствует tg <f = 0,62. При этих условиях по формуле (33) определены:

f't= 0,0291 (10' — 15') 0,62 = — 0,09«/о;  
f"j= 0,0291 (15' — 10') 0,62 = + 0,09»/о;  
р"4= 0,0291 (5' — 5') 0,62 = 0.

При измерении мощности по команде были одновременно сня­ты показания всех ваттметров а1=4й,3°, а2=412,4°, а3=42,1°.

Поправки к (показаниям ваттметров на отметке 40° согласно протоколам доверен ‘равны 6] =—0,05° (половине нониусного деле­ния), е2=—о.о5’ и е3 =+о,о5°

Измеряемая мощность с учетом поправки на измерительные трансформаторы и ваттметры определяется ио формуле (32) и равна:

+ (42,4 — 0,05)

Г / 0,2 + 0,05 — 0,09

Р = 750 (42,3 — 0,05)( 1 - —

100

+ (42,1 +0,05) { 1

— 0,1 +0.15'

100

кет.

**Схема двух ваттметров для генераторов низкого напряжения** показана па рис. 15. Ее особенностью является включение цепей напряжения ваттметров без трансформаторов напряжения \*. Предел ваттметров по

1 Такая схема иногда называется схемой полукосвенного изме­рения мощности

напряжению выбирается в зависимости от величины ли­нейного напряжения, но не выше 600 *в.* При этих изме­рениях могут быть применены ваттметры типа Д 529/4 или Д 539/4, имеющие пределы по напряжению 75— 150—300—600 *в.*

В цепи напряжения рекомендуется установить предо­хранители или автоматы. В последнем случае рубиль­ник *Р2* необязателен. Для уменьшения разности потен­циалов между токовой катушкой ваттметра и подвиж­ной рамкой необходимо одноименные генераторные за­жимы ваттметров соединить перемычками. Вторичные обмотки трансформаторов тока при этом нельзя зазем­лять.

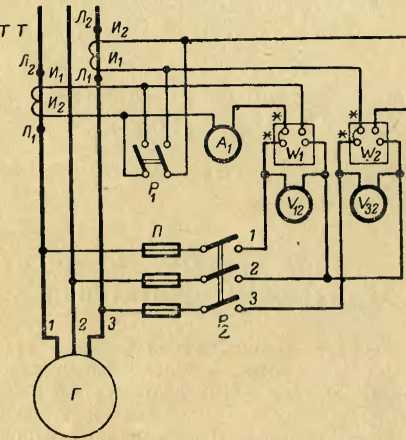


Рис. 15. Схема двух ваттметров для измерения мощ­ности генераторов низкого напряжения.

Измеряемая мощность равна:

*Р = К(а\+а2),* (34)

где /<=СетАтт\* Ю3 (квт/1о].

**Пример 5.** Измеряется мощность генератора типа Т2-0.5-2

750

625 ква, 525 в, cos <f = 0,8. Установлены трансформаторы тока -g- а.

Нулевой провод отсутствует.

Применяются ваттметры типа Д 529/4 класса 0,5 с пределами измерения 5 а, 600 в, шкала 75 делений.

5-600

Определяем постоянную ваттметра Свт =—75—=40 вт/1°.

750

Определяем коэффициент ваттметра K = 40-g-10-s=6Kem/l°.

При измерении мощности отсчитаны показания ваттметров

а, = 7,2° и а2 = 55°.

Следовательно, по формуле (34) мощность равна:

Р = 6(7,2 + 55) = 375 кет.

ai 7,2

Так как ——gg- = 0,13, то cos у = 0,6. Он определен по кри­вой рис. 5 (см. пример 1).

3. ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ  
АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

При измерении мощности асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором необходимо иметь в виду большой пусковой ток, в несколько раз превосходящий номинальный. Поэтому в схеме измерения обязательно должны быть предусмотрены рубильники, закорачиваю­щие на время пуска токовые цепи ваттметров и ампер­метров.

Особенностью измерения мощности двигателей является практически равномерная нагрузка по фазам и обычно меньшие требования к точности измерения мощности.

Наиболее часто измерение мощности двигателей про­изводится с целью определения фактической нагрузки и соответствия его мощности приводимого механизма, а также при тепловых испытаниях. При определении к. п. д. двигателей, особенно двигателей большой мощ­ности, требования к точности измерения повышаются.

Схема двух ваттме гров, описанная применительно к измерению мощности генератора и изображенная на рис. 13, применяется при испытании двигателей высоко- 42

го напряжения большой мощности. Генераторные зажи­мы ваттметров должны быть включены со стороны питания (со стороны генератора). Следовательно, на схеме рис. 13 испытуемый двигатель должен находиться со стороны нагрузки. При измерении мощности двига­теля место присоединения трансформаторов напряже­

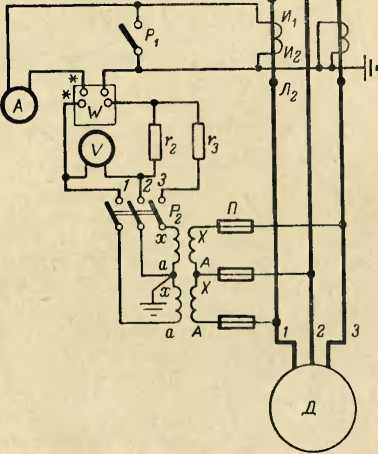


Рис. 16. Включение ваттметра с искусствен­ной нулевой точкой для измерения мощно­сти двигателей высокого напряжения. Не­обходимо, чтобы *гвт=г2=г3.*

ния (со стороны нагрузки или со стороны питания) не имеет значения, так как приведенное сопротивление токовых цепей пренебрежительно мало по сравнению с сопротивлением двигателя. Трансформаторы тока и трансформаторы напряжения, как правило, исполь­зуются, имеющиеся в установке. Ваттметры берутся класса 0,5 с пределами измерения 5 *а,* 100 в (например, типа Д539). Поправки на приборы не вводятся.

На время пуска двигателя необходимо рубильником Pi закорачивать токовые цепи приборов.

При измерении мощности двигателей низкого Напря­жения применяется схема двух ваттметров без транс­форматоров напряжения, приведенная на рис. 15 при­менительно к измерению мощности генератора. При измерении мощности двигателя на схеме испытуемый двигатель должен находиться со стороны нагрузки.

Ваттметры должны выбираться класса точности 0,5—1,0 с пределами измерения по току 5 а и по напря­жению соответственно номинальному (линейному) на­пряжению сети.

При сборке схемы и выполнении измерений необхо­димо соблюдать правила техники безопасности и не за­бывать (особенно при пользовании переключателем по­лярности ваттметра), что на зажимах цепи напряжения ваттметров напряжение 220—380 *в.* Если линейное на­пряжение двигателя превосходит 380 *в,* то рекомен­дуется применять трансформаторы напряжения (напри­мер, 500/100 *в)* и пользоваться схемой рис. 13.

**Схема одного ваттметра с искусственной нулевой точ­кой.** Так как нагрузка двигателя по фазам равномерна и симметрична, то возможно измерение мощности одной фазы с умножением результата измерения на три.

Схема измерения применительно к двигателю высо­кого напряжения изображена на рис. 16. Нулевая точка образована цепью напряжения ваттметра и двумя рав­ными е,й по сопротивлению 'магазинами сопротивлений г2 и г3. Ваттметр выбирается с пределами 5 а по току и 75 *в* по напряжению, исходя из фазного напряжения трансформатора напряжения 100:^3, например типа Д 529/4.

Необходимо убедиться в том, что к ваттметру под­водятся напряжение и ток одной и той же фазы. Вольт­метр включается на линейное напряжение с тем, чтобы не исказить звезду фазных напряжений.

Если в установке имеется трехфазный трансформатор напряжения, то может быть применена схема с одним B^TTMefpoM, изображенная на рис. 17, где цепь напря­жения ваттметра включена непосредственно на фазное напряжение. В этой схеме вольтметр должен быть вклю­чен на фазное напряжение.

Измеряемая мощность в обоих случаях пе зависит от порядка чередования фаз и равна

Р = 3/(а, (35)

где *а —* отсчет по ваттметру в делениях, /< = СЕТ/гтт -10~3 *[квт/!0].*

(36)

Для определения cos <р пользуются формулой

cos ф = —г-—,  
т КзП7

где / и *U —* измеренные ток, *а* и напряжение, *кв.*

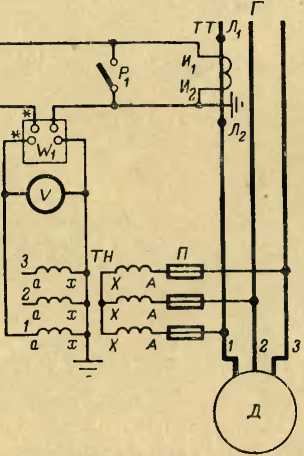


Рис. 17. Включение одного ваттметра на фазное напряжение для измерения мощности двигателей высокого напря­жения.

**Пример 6.** Требуется измерить мощность асинхронного двига­теля, имеющего табличные данные: 310 кет, 3 000 в, 72,5 a, cosq>= 100 3 000

=0,89, 740 об/мин. Измерительные трансформаторы -у а и в.

Применим схему одного ваттметра с искусственной нулевой точкой. Ваттметр берем типа Д 529/4 класса 0,5 с пределами 5 а, 75 в, шкала 75 делений. Номинальный ток цепи .напряжения ватт-

метра 3 ма и, следовательно, сопротивление цепи напряжения на пределе 75 в равно:

г — Q 003 ООО ом.

В качестве сопротивлений г2 .и г3 искусственной звезды берем магазины сопротивления класса ОД, например типа Р-14, общим со­противлением НОО ООО ом, на которых штепселем устанавливаем со­противления по 25 000 ом. Эти магазины допускают ток 3 ма.

При полностью нагруженном двигателе измерено /=7i2,5 a, U= =3000 в и отсчет по ваттметру а=37,б°. Так как постоянная ватт-

5-75

метра равна Свт= -yg- =5 вт/Г, то

л 100 3 000

— Свт ^ti I == " | QQ 1 0 а ■—- 3 ,

тогда

Р—Ъ • 3 • 37,5=336 кет и

336

cos о = —= =0,89.

/3-72,5-3,0

Попутно напомним, что на табличке двигателя указывается по­лезная мощность двигателя (г. е. мощность на валу), а мощность, измеренная ваттметрам, является мощностью, потребляемой двига­телем из сети. Так как в нашем опыте ток, напряжение и cos (р двигателя соответствуют его табличным данным, то можно опреде­лить к. in. д. у двигателя

~~=~~ ~~. Рполези~~^ 100о/о = |10 100о/о = 92,5°/о.

*1* «Зои

Раньше имели распространение лабораторные ватт­метры Сименса и Гальске с пределами измерения 5 *а,* 90 в с зажимом 1 000 *ом.* К ваттметрам прилагалось трехфазное добавочное сопротивление, образующее искусственную нулевую точку для измерения мощности трехфазных трехпроводных установок при полной сим­метрии. К сожалению, наша промышленность таких до­бавочных сопротивлений в настоящее время не выпу­скает.

Схема измерения мощности одним ваттметром для низковольтного двигателя, имеющего доступную нуле­вую точку обмотки статора, приведена на рис. 18. Мощ­ность определяется по формуле (35), причем при опре­делении К по формуле (36) йтн=' 46

**Комплектные устройства для измерения мощности.** Для измерения мощности двигателей и других приемни­ков электроэнергии отечественной промышленностью выпускаются комплектные измерительные устройства, смонтированные в чемодане и включающие в себя не­обходимые измерительные приборы, вспомогательную и устройств типа К50, собранные •по однофазной схеме, и типа К51 — по трехфазной схеме. Оба типа измерительных устройств могут применяться для измере­ния мощности как в установках до 1 000 *в,* так и в установках выше 1 000 *в.*

коммутирующую аппаратуру, а также внешние зажимы

для включения комплектного устройства в схему изме­рений. Выпускаются две модификации измерительных

Применение комплектных из­мерительных устройств чрезвы­чайно упрощает измерение мощ­ности и исключает ошибки при сборке схемы. Особенно это от­носится к схеме двух ваттметров.

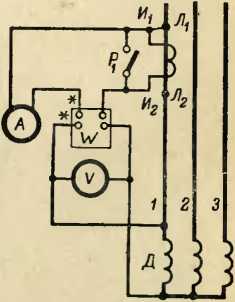
*Переносный измерительный комплект типа К50* собран по схеме измерения мощности при помощи одного ваттметра, пере­ключаемого специальным пере­ключателем поочередно с одной фазы на другую. Это обу- что при колеблющейся нагрузке может снизить точность измерений. Кроме ваттметра, в комплект входят ампер­метр и вольтметр, переключаемые по фазам одновре\*

Рис. 18. Включение одного ваттметра на

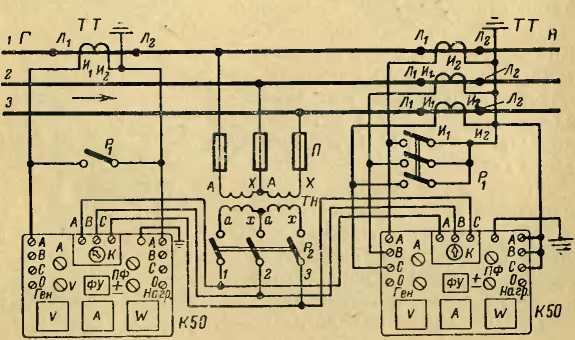
фазное напряжение для 'измерения мощности двигателей 'низкого напряжения.

словливает вынужденный порядок последовательного  
(а не одновременного) измерения мощности *Pi, Р%* и Рз,

Пределы измерения по току 1—50 а и по напряже­нию 150—600 *в.* Изменение пределов измерения по току ■осуществляется путем изменения коэффициента транс­формации встроенного трансформатора тока. Пределы измерения по мощности трехфазных установок от 0,45 до 90 *кет.*

менно с ваттметром, а также указатель порядка следо­вания фаз. Все приборы класса 0,5.

При помощи входящего в комплект блока внешних трансформаторов тока типа И508 пределы измерения на низком напряжении расширяются до 600 *а* и до 1 080 *кет.* При измерении на высоком напряжении пре­дел измерения переносного измерительного комплекта устанавливается 5 *а,* 150 *в.* Переключатель фаз *ПФ* устанавливается в положение, соответствующее фазе, в которую включен трансформатор тока. Цепи напря-



*6)*

Рис. 19. Включение комплектного устройства типа К^О при изме­рении мощности двигателя высокого напряжения.

*а —с* одним трансформатором тока; б —с тремя трансформаторами тока.

жения от трансформаторов напряжения подключаются к зажимам напряжения, а стрелка-указатель переклю­чающей колодки *К* должна быть направлена в сторону соответствующего зажима напряжения. Схемы включе­ния комплектного устройства К50 при измерении мощ­ности высоковольтного двигателя для схем с одним и тремя трансформаторами тока приведены на рис. 19,а и *б.*

В первом случае измеренная мощность определяется по выражению Р=3&тт£тнРл, *кет,* где йтт и ^тн— коэффициенты трансформации измерительных транс­форматоров, *Рл —* измеренная мощность фазы *А, кет.* При измерении с тремя трансформаторами тока пере-

ключатель *ПФ* и колодка *К* последовательно перево­дятся в положение *А, В, С.* Мощность

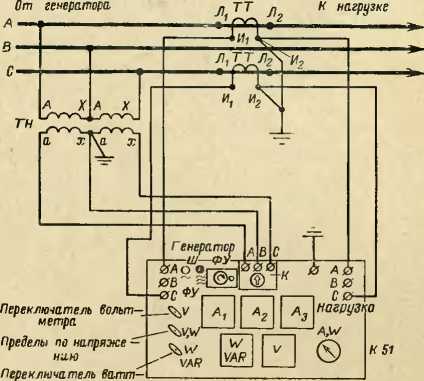
*Р = kTT*/гтн *(РА + Рв + Рс) \квт\.*

*Переносный измерительный комплект К51* дает воз­можность измерения активной мощности в трехфазной, трехпроводной сети при любой неравномерности на­грузки и при любой асимметрии напряжений, а также реактивной мощности при равномерной и неравномерной токовых нагрузках, но при симметрии напряжений. Комплект собран по схеме двух ваттметров с примене­нием одного трехфазного, двухэлементного ваттметра класса 0,5, трех амперметров класса 0,5 и одного вольт­метра класса 0,5, переключаемого на любое междуфаз- ное напряжение. Пределы измерения комплекта по току от 1 до 50 *а,* по напряжению 100-125, 250, 375 и 500 в, по активной мощности для трехфазной схемы от 0,2 до 40 *кет* (для реактивной мощности те же пределы в ки­ловольт-амперах реактивных).

Изменение пределов измерения по току произво­дится путем изменения коэффициентов трансформации встроенных трансформаторов тока. Для амперметра средней фазы в комплекте предусмотрен специальный трехобмоточный трансформатор тока, включенный на разность токов крайних фаз. Измерение реактивной мощности осуществляется тем же ваттметром, переклю­чаемым по схеме с искусственной нулевой точкой. Комплект позволяет производить также измерение мощ­ности по однофазной схеме. В этом случае при после­довательном соединении токовых измерительных эле­ментов ваттметра пределы измерения от 0,1 до 20 *кет* и при параллельном соединении от 0,2 до 40 *кет.*

При измерениях мощности на низком напряжении пределы измерения могут быть расширены путем при­менения блока внешних трансформаторов тока И520 до 600 *а* и до 480 *кет.*

При измерении на высокого напряжении использу­ются внешние (высоковольтные) трансформаторы тока и трансформаторы напряжения. Пределы измерения пе­реносного комплектного устройства в этом случае уста­навливаются 5 а и 100—125 *в (Cw=* 10). При этом штырьковый переключатель *К* ставится в положение, 4—475 ядпри котором стрелка-указатель колодки направлена в сторону зажимов цепи напряжения; штепсель *Ш* дол­жен находиться в положении измерения трехфазной мощности. Схема включения комплекта К51 для этого случая приведена на рис. 20.



*метра*

*Пределы по току*

Рис. 20. Включение комплектного устройства Кб' при измерении мощности двигателя высокого на­пряжения.

Измеренная трехфазная мощность

*Рм =* £тн • Юа • 10"s = 0,01ЛТТ /гтн а *[кет],*

где а —отсчет по шкале с делением;

*/гТТ* и Лтн — коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов.

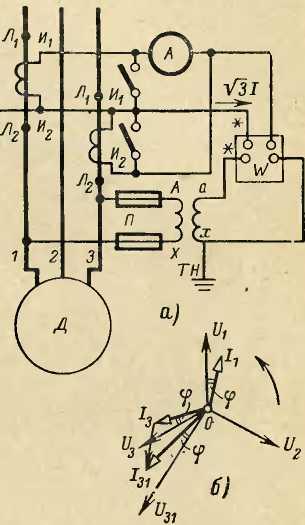
При измерении реактивной мощности переключа­тель активно-реактивной мощности должен быть уста­новлен в соответствующее положение. Реактивная мощ­ность определяется по вышеприведенному выражению в киловольт-амперах реактивных. Перед измерением необходимо проверить симметричность напряжений при 50

ных, трехпроводных установках с любой степенью неравномер­ности нагрузки и осо­бенно может быть ре­комендован при испы­таниях генераторов и двигателей большой мощности.

помощи вольтметрового переключателя. Оно не должно отличаться больше, чем на 1% среднего значения ли­нейных напряжений. Переносный измерительный ком­плект с успехом может быть применен во всех случаях, когда требуется точное измерение мощности в трехфаз­

**Схема одного ватт­метра, включенного на разность токов.** Схема одного ваттметра, включенного на раз­ность токов двух фаз и на одно линейное на­пряжение, изображена на рис. 21. Там же да­на векторная диаграм­ма схемы, откуда вид­но, что ток в обмотке ваттметра равен 1^3/ и поэтому трехфазная мощность при симмет­ричной и равномерной нагрузке фаз и приня­том чередовании фаз *1—2—3* непосредствен­но измеряется одним ваттметром.

Для ваттметра пре­дел измерения по току должен быть 10 *а,* по

4\*

напряжению — соответственно линейному напряжению, а для трансформаторов напряжения—100 *в.*

Измеренная мощность определяется непосредственно по ваттметру *Р—Ка,* где *К* определяется по фор­муле (36).

Рис 21 Измерение мощности одним ваттметром, включенным на разность гоков Предел измерения по току ваттметра должен быть взять в 3 раз больше номинального вторичного тока трансформаторов тока.

а —схема -включения; б — векторная диа­грамма.

51

Схему рекомендуется применять в тех случаях, когда имеется один однофазный трансформатор напряжения и два трансформатора тока.

Пример 7. Требуется определить нагрузку высоковольтного двигателя, в пусковом шкафу которого установлены два трансфор­матора тока и один трансформатор напряжения, включенный на ли­нейное напряжение. Мощность двигателя 290 кет, напряжение 6 000 в. Трансформаторы тока у а установлены в фазе 1 и фа- 6000

зе 3; трансформатор напряжения ■ jqq в присоединен между фа­зами 1 и 3. Чередование фаз 1—2—3. Такое включение измеритель­ных трансформаторов соответствует схеме на рис. 19. Примем схе­му одного .ваттметра, включенного на разность токов, как указано па той же схеме. .Используем имеющийся ваттметр типа Д689/1 класса 0,5 с пределами измерения ТО а, 150 в, шкала 75 делений.

.При измерении показания ваттметра а=Е6°. Так как

Ю-150 50 6 0(Х) ,

Свт= 75 =20 впг/\° и tf = 2O-5-~ioo- 10-s = 12,0 квт, 1°, то

/’=112,0-26=312 кет.

Заметим, что лучше было бы применить ваттметр с номиналь­ным напряжением ие 150, а '100 в, так как измерение мощности в первой трети шкалы ваттметра дает повышенную погрешность. Так, если бы мы располагали ваттметром с пределами измерения 10 а, 100 в, шкала 100 делений, для которого

10-100 50 6 000

С'вт= ~~100~~ =1 em/l° и K'=10--g [qq-10-3 = 6 квт/\°.

то при той же мощности отсчет по ваттметру составил бы

Р 312  
а~К' ~ 6 52°’

т. е. производился во второй половине шкалы.

**Измерение мощности и определение cos ср при помощи счетчиков.** Мощность, потребляемая двигателем, может быть определена по трехфазному счетчику, учитываю­щему расход активной энергии. Для этого необходимо отсчитать число оборотов *N* диска за некоторый проме­жуток времени *t* (доел аточно 20—40 *сек,* отсчитываемых по секундомеру). Нагрузка двигателя за этот промежу­ток времени не должна 'изменяться.

Если па табличке универсального счетчика активной энергии, например типа САЗУ, указано 1 *квт-ч=п* обо- 52

рогов диска\*, то мощность в ктоваттах определяется по выражению

3600 N\_k k

*I п t* **кттктп,**

где &тт и &тн — коэффициенты трансформации транс­форматоров тока и трансформаторов напряжения.

**Пример 8.** На табличке счетчика указано: 1 квтп-ч = 2 500 обо- г 400

ротов, 5 а, 100 в. Счетчик включен с трансформаторами тока -g- а

3 000

и трансформаторами напряжения ~~• [qq~~ в. При определении мощ­ности диск совершил 20 оборотов за 56 сек.

В этом случае измеренная мощность равна:

3 600 20 400 3 000

Р = 2 500 ’56’Т- 100 = 1 240 кет.

Для определения cos <р по трехфазному счетчику не­обходимо кратковременно, секунд на 30- -60, сначала отключить цепь напряжения счетчика фазы *1* (напри­мер, вынуть предохранитель) и отсчитать за это время число оборотов диска. Затем включить цепь напряже­ния фазы *1,* отключить цепь напряжения фазы *3* и от­считать число оборотов диска за тот же промежуток времени, после чего схема восстанавливается.

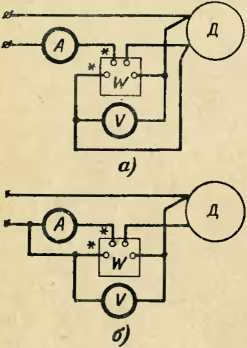
Если обозначить через *N2* большее отсчитанное число оборотов диска, а через М меньшее, то cos <р опреде- ляется по кривой рис. 5 по отношению =—.

Если установлены два однофазных счетчика, то для определения cos <р не требуется отключать цепи напря­жения. В этом случае сначала отсчитываются обороты диска одного счетчика, а затем за такой же промежуток времени — оборот ы диска другого счетчика. Лучше от­счет оборотов делать вдвоем одновременно. При изме­рениях нагрузка не должна изменяться.

**Измерение мощности двигателей малой мощности** требует учета потребления мощности цепями измери­тельных приборов, в частности, цепями напряжения, так как потребление приборов может быть соизмеримо

1 Согласно ГОСТ указывается передаточное число счетчика.с мощностью самого двигателя и существенно повлиять на точность измерений.

Обычно погрешность в измерении мощности малых двигателей сводят к приемлемому минимуму путем соот- ветствущего включения цепей напряжения ваттметра или же подбором специальных приборов с уменьшенным потреблением мощности.

220 в, 0,35 а. Цепи напряжения ватт­метров и вольтметров присоединены непосредственно к зажимам двигате ля. Применен ваттметр типа Д527/2 класса 0,5 с пределами 0,5—1 а (0,6—0.15 ом) и 150—300 в (5 000— 10 000 сш), вольтметр типа АСТВ 150—300 в (5 000—10 000 ом) и ам­перметр типа АСТ-3 0,5—1 а (4,44— 11,1 Оли).

**Пример 9.** На рис. 22,а изображена принципиальная схема из­мерения мощности однофазного асинхронного двигателя 50 вт.

Рис. 22. Измерение мощно­сти маломощных двигате­лей.

Для предела измерения 300 в ток, потребляемый цепями напряже­ния ваттметра и вольтметра, равен:

220-2

/в» =10 000 = 0,044 а-

Этот ток, равный примерно 10% тока нагрузки двигателя, протекает вместе с ним по последовательной

*а —* ток, потребляемый цепями  
напряжения ваттметра и вольт-  
метра намного меньше тока на-  
грузки двигателя; *б —* ток, по-  
требляемый цепями напряже-  
ния ваттметра и вольтметра  
соизмерим с током нагрузки  
двигателя.

торному зажиму токовой обмотки ваттметра, как это указано ча рис. 22,6. В этом случае через токовую обмотку ваттметра протекает только ток нагрузки дви­гателя. Однако напряжение, измеряемое вольтметром и подводимое к цепи напряжения ваттметра, будет больше напряжения на зажимах двигателя за счет падения напряжения в последовательной цепи ваттметра и амперметра, а это создаст также некоторую погреш­ность в измерении мощности. Но этой погрешностью

обмотке ваттметра, вследствие чего измеренная мощность может ока­заться больше действительной на ~ 10%. Погрешность будет тем больше, чем меньше мощность изме­ряемого двигателя.

Чтобы уменьшить погрет- ность, необходимо цепи на­пряжения ваттметра и вольт­метра переключить к генера­

можно пренебречь, так как сопротивление токовой цепи приборов для предела 0,5 *а* составляет 0,6+4,44 = 5 *ом,* а полное сопротивление двигателя значительно больше,

220 сел

около =Ьо() *ом,* вследствие чего падение напряже­ния в последовательной цепи приборов мало.

Таким образом, применяя приборы, потребление це­пей напряжения которых соизмеримо с током нагрузки двигателя, необходимо собирать схему измерений, при­веденную на рис. *22,6.*

Можно, однако, применить схему измерения мощно­сти по рис. *22,а,* если подобрать приборы с малым по­треблением цепи напряжения, например ваттметр типа Д 529/2 класса 0,5 с пределами 0,25—0,5 *а* (0,2 *ом),* 75—150--300- 600 *в* (3 *ма)* и вольтметр типа Д 523/3 с пределами 75—150—300—600 *в* (25 000--50 000— 100 000—200 000 *ом)* Тогда ток, потребляемый цепями напряжения, составит:

99П 99П

/пр = о,003^4-1^0=0,0044 а = 4,4 *ма,* что мало по сравнению с током нагрузки двигателя.

При измерении мощности трехфазных двигателей малой мощности рекомендуется собирать схему трех ваттметров, как схему симметричную и не нарушающую распределение токов по фазам двигателя.

**Измерение мощности двигателя по амперметру. На** щитке двигателя указывается полезная мощность дви­гателя (мощность на валу), номинальное напряжение и номинальный ток двигателя.

Мощность, потребляемая двигателем из сети, равна:

PceT = K3/t7cOS<p 10“’ *[кет].*

Полезная мощность

*Р — Т\Р* ест,

где т] — к. п. д. двигателя.

**С** изменением нагрузки на валу изменяется ток ста­тора *I* и cos *ср.* Ток статора является геометрической суммой приведенного к напряжению статора тока ро-

55

тора [[6]](#footnote-7) и тока холостого хода. Значение тока холостого хода для различных типов двигателей колеблется в ши­роких пределах (20—50% номинального), вследствие чего между нагрузкой на валу и током статора нет пропорциональности. Однако если определить ток холо-

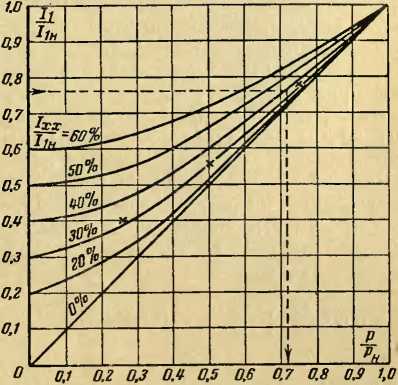


Рис. 23. Обобщенные кривые зависимости тока статора от нагрузки для разных зна­чений тока холостого хода.

стого хода, то можно приближенно определить нагрузку двигателя по току статора, пользуясь обобощеиными кривыми, приведенными на рис. 23. Эти кривые построе­ны для нескольких значений тока холостого хода и дают зависимость тока статора от нагрузки. По оси абсцисс отложена нагрузка в относительных единицах *Р*

*-р-,* а по оси ординат — ток статора, также в относи­тельных единицах^- (см также приложение II).

' и

**Пример 10.** Определяется мощность двигателя дымососом с таб­личными данными P=3i0 кет, 3 000 в, 72,5 а, 740 об/мин.

Холостой хоц двигатели определялся приближенно — без рас­соединения муфты, при закрытых шиберах. При номинальном на­пряжении измерено /х.х=25 а. Тогда

/х.х \_ 25

/н 72,5 ^°-35'

Следовательно, на рис. 21 отсчет нужно делать примерно посереди­не между кривыми 30 и 40%.

При нагрузке измерен ток статора /='55 а, следовательно, — =

55

72”5 =0,76. Эту величину нужно найти та вертикальной оси и провести через нее горизонтальную линию до пересечения с кри­вой, найденной ранее. (Горизонтальная линия гна рис. 21 изображе­на пунктиром. Кривая не показана, так как она, как |уже указыва­лось, лежит между кривыми 30 и 40%). Затем следует опустить перпендикуляр на горизонтальную ось (показана (пунктиром, закан­чивающимся стрелочкой) и определить таким образом р~ =0,73.

Остается вычислить искомую мощность, которая трибтизитель- по равна Р=0,73 • 310=1226 кет.

**Измерение мощности двигателей без их отключения.** Часто бывает необходимым определить нагрузку двига­теля, причем остановка двигателя для подключения при­боров не всегда возможна. В таких случаях измерение мощности низковольтных двигателей может быть осу­ществлено при помощи ваттметровых измерительных клещей. Класс точности измерительных клещей невы­сок— 4,0, но в большинстве случаев при определении степени нагрузки двигателей такая точность бывает достаточна.

Выпускаемые нашей промышленностью клещи типа Д 90 имеют пределы измерения по току от 150 до 500 *а* ■и по напряжению 220 и 380 *в.* Шкала градуирована в киловаттах при номинальном коэффициенте мощности, равном 0,8. Клещи дают возможность измерять актив­ную мощность однофазного тока от 25 до 150 *кет.*

При измерении клещами мощности двигателя необ­ходимо иметь доступную нулевую точку звезды статора. Предел измерения по напряжению выбирается соответ­ственно фазному напряжению двигателя 220 или 380 *в.* Подсоединение цепи напряжения осуществляется спе­циальными проводами, имеющими, с одной стороны, штепсельные однополюсные вилки и, с другой стороны,

пружинные зажимы типа «крокодил». Генераторным концом (штепсельное гнездо на клещах обозначено звездочкой) цепь напряжения подсоединяется к одной из фаз двигателя, а другим (штепсельное гнездо обозна­чено 220 или 380 в) — к нулевой точке статора. Магни­топроводом клещей охватывают тот провод (фазу), к которому подсоединена цепь напряжения. Положение клещей при этом должно быть таким, чтобы ток на­грузки «входил» в отверстие магнитопровода со стороны шкалы прибора. Положение переключателя пределов измерения по мощности предварительно должно быть установлено на предел, соответствующий одной трети номинальной мощности двигателя. Если стрелка ватт­метра клещей при наличии нагрузки не отклоняется, необходимо проверить целость предохранителей, встро­енных в штепсельные вилки проводов цепи напряжения, предварительно отключив эти провода от фазы и нуля. Отсчет для пределов измерения 25, 50 и 100 *кет* произ­водится по шкале 0—50 (с соответствующим коэффи­циентом 0,5, 1,2), а для пределов 75 и 150 по шкале 0—150 (с коэффициентом 0,5 и 1). Для определения мощности двигателя необходимо показания клещей в киловаттах умножить на три.

При недоступной нулевой точке статора или при соединении обмотки статора в треугольник мощность двигателя может быть измерена при помощи двух ваттметровых клещей, включенных по схеме двух ватт­метров (схема Арона). Для этого цепь напряжения первых клещей генераторным концом присоединяется .к фазе *1* и концом 380 *в* к фазе *2;* цепь напряжения вторых клещей генераторным концом присоединяется к фазе *3* и концом 380 в к фазе *2.* Первыми клещами охватывается фаза *1* (соблюдая полярность, как ука- завалось выше), а вторыми — фаза *3.* Измерения обяза­тельно должны производиться двумя лицами. Отсчет показаний производится одновременно. Мощность дви­гателя определяется как сумма показаний обоих клещей в киловаттах. Если показания одних из клещей будут отрицательными (что имеет место при cos<p<0,5), то необходимо изменить полярность в цепи напряжения этих клещей, для чего поменять местами провода, иду­щие к фазам. Если условия отсчета по шкале позво­ляют, то можно, вместо изменения полярности в цепи 58

напряжения, изменить направление тока в окне магни­топровода. Это осуществляется путем поворота магнито­провода на 180°.

4 ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В ТРЕХФАЗНЫХ ЧЕТЫРЕХПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

Трехфазные четырехпроводные сети низкого напря­жения, как правило, имеют смешанную нагрузку. Они питают освещение и электродвигатели; нагрузка обычно неравномерна по фазам, нередко несимметрична по

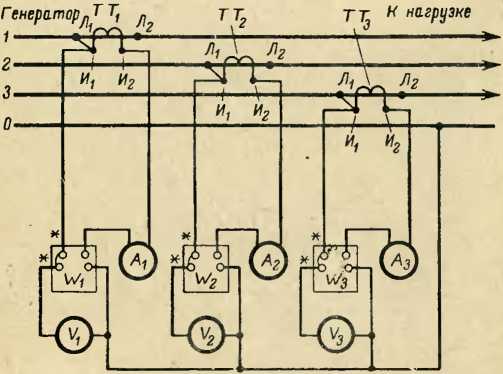


Рис. 24. Измерение мощности в трехфазной четырех­проводной сети.

фазным напряжениям, особенно если в сети включены сварочные трансформаторы. В таких случаях для изме­рения может применяться только схема трех ваттмет­ров, пригодная для любых неравномерных и несиммет­ричных нагрузок трехфазных, как трехпроводных, так и четырехпроводных, сетей независимо от порядка чере­дования фаз.

Полная схема измерения для четырехпроводной се­ти напряжением 380 *в* и ниже приведена на рис. 24.

Ваттметры выбираются по пределу измерения цепи напряжения, исходя из величины номинального фазного напряжения сети.

Генераторные зажимы первичной и вторичной обмо­ток каждого трансформатора тока *(Л^* и *И})* должны быть соединены перемычками. Перемычками соединя­ются также генераторные зажимы токовой цепи и цепи напряжения ваттметров с целью снижения потенциала между токовыми катушками и рамкой цепи напряже­ния ваттметров. Через эти же перемычки подается на­пряжение на цепи напряжения ваттметров. Заземлять цепи вторичных обмоток трансформаторов тока нельзя.

При линейном напряжениии выше 380 *в* рекомен­дуется для безопасности применять трансформаторы напряжения, номинальное первичное напряжение кото­рых должно быть равно номинальному фазному напря­жению сети.

Отсчет по трем ваттметрам берется одновременно, и мощность определяется по формуле

Р= К(сц + 02 + ^3) ,

где

Л = Свт&тт-10\_3 *[квт/1°\.*

**Пример 11.** Необходимо измерить мощность отходящей трех­фазной четырехпровоцной линии с неравномерной нагрузкой фаз. Номинальное напряжение линии 380,'ЗЗО в, в каждой фазе установ­лены трансформаторы тока —g— а.

Применим схему измерения мощности тремя ваттметрами, цепи напряжений которых включаются на фазные напряжения (рис. 22). Ваттметры типа Д 539/4, ю пределами 5 а, ЗСО в, шкала 76 делений.

Вычисляем

5-300

Свт ~ ~ ~~75~~ — 20 вт/\°

**и**

100

К = 20—=-10-’= 0,4 квт/Г. О

Пои 'измерении мощности по команде сняты показания всех ваттметров ai=45°, u2=37°, аз=52°. Тогда Т>=01'4(45+37+б2) = ='53,6 кет.

1. ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ  
   ПРИ ОПЫТАХ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

**Асинхронные двигатели.** При испытании крупных асинхронных двигателей питание их при опыте коротко­го замыкания желательно производить от выделенного генератора, используя резервную систему шин. Ротор двигателя должен быть заторможен. Напряжение от вы-\* деленного генератора поднимается плавно с нуля и до­водится до значения, при котором ток статора двигате­ля равен номинальному. При заторможенном роторе из-за отсутствия вентиляции при токе в статоре, близ­ком к номинальному, возможны перегрев обмотки ста­тора и изменения температуры меди. Поэтому опыт ко­роткого замыкания должен производиться быстро и четко.

Специфическим при измерении мощности короткого замыкания являются: низкий cos<p (0,2—0,3), необходи­мость подбирать пределы измерения приборов (особен­но цепей напряжения), а также необходимость считать­ся с сопротивлением цепей приборов и сопротивлением ошиновки и кабелей между точками присоединения трансформаторов напряжения и зажимами двигателя.

Измерение производится обычно с использованием установленных трансформаторов тока, что и определяет верхнее значение гока при опыте короткого замыкания величиной номинального тока трансформатора тока или двигателя. Этим же определяется номинальный ток ваттметра и амперметра, равный вторичному току трансформатора тока, т. е. 5 *а.*

Напряжение короткого замыкания асинхронного двигателя, соответствующее номинальному току, в сред­нем около 20%' номинального напряжения двигателя определяет пределы измерения по напряжению ватт­метров и вольтметров, а также применение трансфор­маторов напряжения или добавочных сопротивлений.

Пример 12. Испытывается двигатель с номинальным напряже­нием 6 кв. Ожидаемое напряжение при .номинальном токе будет примерно Б ООО • 0,2='1 200 в. В этом случае для цепей напряжения надо установить лабораторные трансформаторы напряжения 1500

~~•jOO~~ в, присоединив их к зажимам статора двигателя и применить с номинальным напряжением 100 в.

Однако при испытаниях всегда желательно использовать имею­щиеся установленные трансформаторы напряжения, применив ватт­метры и вольтметры на меньшие пределы по напряжению. Такое включение приборов возможно, если ваттметры и вольтметры име­ют большое внутреннее сопротивление цепей напряжения.

**Пример** 13. Испытывается двигатель напряжением 6 кв. Ожида емое вторичное напряжение установленного трансформатора напря­жения при опыте короткого замыкания (три номинальном токе) примерно 0,2 • 100=20 в. Применим ваттметры типа Д 539/1 класса 0,5 с пределами 5—110 а и 30—‘75—‘150—300 в на пределе по напря­жению 30 в (Гпт=ПОООО ом) и вольтметры типа Д 523/2 класса 0,5 на пределе 30 в (гв = 6 000 ом).

Сопротивление нагрузки на каждый трансформатор напряже­ния составит:

гвтгв 10 000-6 000

гв1 +гв " Ю 000+6 000— 3 750 ом-

Допустимое наименьшее сопротивление нагрузки на фазу трансфор­маторов напряжения класса 0,5, включенных в схему открытого треугольника, равно:

,г- 1002 г-

/3 -£г-=-^-/3^350 ом.

Как видно из прикидочного расчета, при таком использовании приборов и трансформаторов напряжения перегрузки не будет, так как сопротивление нагрузки (3 750 ojw) значительно больше мини­мально допустимого (350 олг).

Измерение мощности обычно производится по схеме двух ваттметров. Схема включения приборов показана на рис. 13 применительно к измерению мощности гене­ратора. При сборке схемы по рис. 13 двигатель должен находиться со стороны нагрузки.

Необходимо обратить внимание на то, чтобы цепи напряжения измерительных приборов были присоедине­ны со стороны зажимов испытуемого двигателя и чтобы в измеряемую цепь по возможности не входили комму­тирующая аппаратура, ошиновка или силовые кабели. Лучше всего трансформаторы напряжения присоеди­нить непосредственно к зажимам статора двигателя.

При подаче напряжения толчком во избежание по­вреждения приборов пусковым током необходимо при пуске токовые цепи приборов закорачивать.

При производстве измерений надо помнить, что при сояф меньше 0,5 показания одного из ваттметров будут отрицательны. Следовательно, для выполнения отсчета переключатель полярности этого ваттметра придется 62

перевести в положение обратной полярности, а при вы­числении мощности его показания подставлять в фор­мулу со знаком минус.

Опыт короткого замыкания можно провести при одном значении тока, подавая напряжение толчком от сети низкою напряжения Так, например, при испыта­нии двигателей 6 *кв* может быть использована трехфаз­ная сеть 380 или 500 *в.* В этом случае цепи напряжения ваттметров могут присоединяться непосредственно к за-

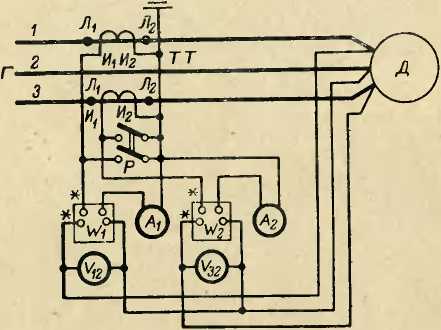


Рис. В5. Изменение мощности двигателя при опыте короткого замыкания.

жимам двигателя без трансформаторов напряжения, но их пределы по напряжению должны соответствовать но­минальному напряжению используемой сети.

Пределы ваттметров по току определяются ориенти­ровочно путем приближенного пересчета, при котором уменьшение тока заторможенного двигателя принимает­ся пропорциональным уменьшению напряжения пи­тания.

■Схема соединения приборов для этого случая пока­зана на рис. 25.

При работе с этой схемой нельзя забывать о техни­ке безопасности, особенно при переключениях переклю­чателя полярности ваттметра, так как зажимы с напря­жением 380 *в* расположены близко от его ручки.

При опыте короткого замыкания маломощных Двига­телей низкого напряжения применяется непосредствен­ное включение приборов. Для получения симметричной схемы измерений рекомендуется использовать схему трех ваттметров, присоединяя параллельные цепи ватт­метров к нулевой точке двигателя или соединяя их в искусственную звезду. Номинальные токи и напряже­ния ваттметров выбираются в зависимости от мощности двигателя и напряжения короткого замыкания. Ватт­метры желательно выбирать малокосинусные, например из серии Д 542.

Необходимо правильно присоединять цепи напряже­ния, исходя из соотношений внутренних сопротивлений ваттметров и вольтметров и сопротивления двигателя.

В качестве источника питания для двигателей низ­кого напряжения могут быть использованы три транс­форматора 220/12 *в,* 100 —500 *во,* включенные в тре­угольник или в звезду.

**Трансформаторы.** Измерение мощности короткого за­мыкания силовых трансформаторов производится по тем же схемам, что и для двигателей. Однако необходимо иметь в виду, что cos ср для режима короткого замыка­ния еще ниже и лежит в пределах 0,1—0,2, вследствие чего обязательно применение малокосинусных ваттмет­ров для схем одного и трех ваттметров. Так как напря­жение короткого замыкания щ;[%] трансформаторов обычно известно, выбор приборов по пределам измере­ний затруднений не вызывает.

**Пример 14.** Необходимо измерить мощность короткого замыка­ния двухобмоточного трехфазного трансформатора типа ТМ-5600 10 мощностью 5 600 кза, напряжением 10,0/6,3 кв, ы,(='5,5%.

Определим величину подводимого напряжения в режиме корот­кого замыкания (замыкание со стороны 10,0 кв) при номинальном токе

,, С/цПк 6 300\*5,5

Uk = 100 ~ 100 Зо0 в-

Для опыта короткого замыкании используем трехфазпую сеть 380 в и рассмотрим три варианта измерения.

11. Для измерения мощности применим схему двух ваттметров. Ваттметры берем обычные, например типа Д 539, с пределом изме­рения пи току 5 а, шкала 75 лечений. Предел измерения по напря­жению выбираем 300 в с 'внешним добавочным сопротивлением для напряжения 375 в. Так как номинальный ток цепи напряжения вы- 64

бранных ваттметров составляет 3 ма, то величина добавочного со­противления равна:

375 — 300

гд — q 003 25 ООО ом.

В качестве добавочных сопротивлений могут быть использованы магазины сопротивлений класса 0)1 .или 0,2, например типа Р->14.

•Постоянная ваттметра с учетом добавочного сопротивления бу­дет равна:

5-375

Свт = 75 —25 вт/1°.

600

Трансформаторы тока установлены -g- а, следовательно,

600

К = 25--д—10-" = 3 квт!\°.

О

При измерении отсчитаны показания ai=29.5° и «2=42,5° (у первого ваттметра переключатель полярности поставлен на отри­цательную полярность).

Тогда мощность короткого замыкания

Рк: =3(42,5—29,5) =39 кет.

29,5

Отношение ^~=—42~5 =—КРИВ01'\* 'Рис- 5 находим

cos грк.3=0>1.

2. Применим схему одного ваттметра, при которой необходимо выбрать малокосинусный ваттметр, например типа Д 542/4, с пре­делами измерения по току 5 а и по напряжению 300 в шкала 75

делений, так как цепь напряжения ваттметра включается на фазчое 380

напряжение =220 в (см. пояснения к рис. 16).

г о

Сопротивление лучей звезды должно равняться сопротивлению цепи напряжения ваттметра, которое составляет

300

Гв т == 0 000 ом,

так как номина тьный ток цепи напряжения ваттметра типа П 542 равен 0,005 а (5 ма).

■Номинальный cos гр ваттметра равен 0,1 (см. приложение), а не единице. Поэтому постоянная ваттметра равна:

5-300-0,1

**Свт**

75

600

К = 3-2--^--10-3 = 0,72 квт/1

Коэффициент 3 учитывает мощность трех фаз. 5—475

При измерении отсчитано показание а=54°. Следовательно, Р„ э=0.72 • 54= 39 кет.

8. При измерении по схеме одного ваттметра применим обыч­ный ваттметр с номинальным cos <р=11 и с теми 1же, как в преды­дущем .случае, пределами измерения по току и напряжению. Топа

5-300

Свт=—75~=20 ew/l°.

и

600

К =3-20--g—10-’ = 7,2 квт/\°.

В этом случае .ваттметр покажет а=5,0°, т. е. отсчет придется производить в самом начале шкалы, где абсолютная погрешность ваттметра велика. Измеренная мощность равна:

Рк з=7,2-5=36 кет.

Сопоставляя результаты измерений по трем вариан­там, можно сказать, что наиболее удобной схемой, не требующей специальных (малокосинусных) ваттмгтров и дающей надежные отсчеты показаний обоих ваттмет­ров на середине шкалы или в ее правой части, является схема двух ваттметров — схема Арона.

При измерениях мощности короткого замыкания не­обходимо помнить, что при низких значениях coscp рез­ко возрастают угловые погрешности трансформаторов тока, вследствие чего при точных измерениях необходи­мо применять проверенные непосредственно перед изме­рением лабораторные (можно низковольтные) транс­форматоры тока класса 0,1 или 0,2.

Измерение мощности производится по схеме двух ваттметров, изображенной на рис. 25. Если напряжение при опыте короткого замыкания превосходит 600 в, то применяются трансформаторы напряжения, так же как при испытании двигателей.

При проведении опыта короткого замыкания с трансформаторами, имеющими обычное воздушно-ма- сляное охлаждение, опасаться перегрева обмоток не приходится.

Для трансформаторов с форсированным охлажде­нием необходимость включения охлаждения определяет­ся местными инструкциями.

Для трехобмоточных трансформаторов опыт корот­кого замыкания производится для разных комбинаций обмоток в соответствии с программой испытаний. При 66разных сочетаниях обмоток ыь[°/о] трехобмоточного трансформатора имеет разные значения, что необходимо иметь в виду при выборе предела измерения ваттметра.

'При подаче напряжения толчком возможен бросок намагничивающего тока. Поэтому на время включения токовые цепи приборов обязательно должны закорачи­ваться рубильником.

1. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ  
   ПРИ ОПЫТАХ ХОЛОСТОГО ХОДА

Особенностью измерения мощности холостого хода асинхронных двигателей и трансформаторов является необходимость считаться с тем, что cos гр при измерении очень низок, особенно для трансформаторов (0,05— 0,15), а потребляемый ток холостого хода составляет несколько процентов тока нагрузки для трансформато­ров и до 20—30% для асинхронных двигателей. Поэто­му не рекомендуется использовать установленные транс­форматоры тока, так как работать они будут в самых неблагоприятных условиях (малый ток нагрузки и боль­шая доля намагничивающего тока, большой угловой сдвиг тока нагрузки), что может привести к недопусти­мо большой угловой погрешности. Покажем это на при­мере.

**Пример 15.** Пусть измерение мощности холостого хода произво­дится для трансформатора, у которого /х.х—ОЛ1/,,. Установлены трансформаторы тока .класса 0,5, для которых согласно ГОСТ 7746-55 при О,1!/,, погрешность но коэффициенту трансформации /тт=±1% и угловая 1погрешность бтт=|±’60/.

Определим погрешность измерения, которая обусловлена толь­ко измерительными трансформаторами при изме­рении мощности одним ваттметром (нагрузка равномерная) Угло­вой погрешностью трансформатора напряжения пренебрегаем, а по­грешность в коэффициенте трансформации принимаем (тн = ±0,5% согласно классу.

Полагая, что в худшем случае все погрешности одного знака, и учитывая, что cos<p=Ojl соответствует tg <р=9,95, получаем (л= =0,02916th tg<p=O,0291 • 60-9,95=17,4% и Л,Ощ=йт+/:тн + = ='1'+0,'5+П7,4=1И8,9%. Такая погрешность недопустимо велика.

Погрешность измерения возрастет, если будут применены обыч­ные лабораторные ваттметры, рассчитанные на полное отклонение при cos <р=>1.

Поскольку измеряемый ток составляет примерно <10% номи­нального, естественно выбрать ваттметр ic пределом измерения по 5\* 67

току 0,5 а, например типа Д '572/2, у которого внутреннее сопро­тивление на этом пределе 0,6 ом. Это сопротивление токовой цепи ваттметра создаст дополнительную ’Нагрузку во вторичной обмогке трансформатора тока 52 • 0,6= 1'5 ва, необходимо проверить, не вы­водит ли эта дополнительная нагрузка трансформатор тока из клас­са 0.5. Проверка выполняется подсчетом (§ 2, пример 2).

Допустим, что при включении ваттметра нагрузка трансформа­тора тока не превосходит допустимую, и мы используем этот ватт­метр. Однако отклонение его стрелки, несмотря на то, что по токо­вой цепи протекает номинальный ток и к цепи напряжения прило­жено номинальное напряжение, из-за низкого cos <р составит при­близительно 10%. Для такого отклонения допустимая погрешность ваттметра класса 0,5 с общим числом делений 100 равна F= 100

=0, о • | о =5 %

'Значит, полная погрешность измерения мощности хоюстого хода трансформатора с использованием имеющихся уста­новленные трансформаторов тока класса 0,5 и обычных лаборатор­ных ваттметров класса 0,5 при неблагоприятных условиях может доходить до /о с щ—5+11'8,9=23,9%, что совершенно неприемлемо.

Как видно из примера, при измерении мощности хо­лостого хода как трансформаторов, так и асинхронных двигателей установка специальных трансформаторов тока на меньший номинальный ток совершенно необхо­дима. Целесообразно устанавливать лабораторные мно­гопредельные трансформаторы тока класса 0,2 или 0,1, причем втулки их по изоляции должны соответствовать рабочему напряжению испытуемого трансформатора или двигателя и иметь протокол проверки изоляции. При измерении мощности по схеме одного ваттметра не­обходимо применять только малокосинусные ваттмет­ры, например из серии Д542.

Измерение мощности холостого хода двигателей вы­сокого напряжения и трансформаторов обычно произ­водится по схеме двух ваттметров, показанной на рис. 13, с применением обычных ваттметров Испыту­емый двигатель на схеме рис. 13 должен находиться со стороны нагрузки. Перед включением трансформатора или двигателя токовые цепи приборов обязательно должны быть закорочены во избежание повреждения приборов пусковыми токами.

Так как coscp при измерении меньше 0,5, то показа­ния одного из ваттметров будут отрицательны, что не­обходимо учитывать при определении мощности так же, как иллюстрировано примером 14 в § 5.

**Пример 16.** Измеряется мощность холостого хода двухобмо­точного трехфазного трансформатора типа ТМ-5600/10, 10,0/63 кв.

Определим ориентировочно ток холостого хода со стороны 6,3 кв при номинальном подводимом напряжении предполагая, что /х.х^0,071н.

Номинальный ток трансформатора со стороны 6,3 кв для случая 5 600

cos у=1 определится как 7Н = . = 515\_а и, следовательно, ток

У 36,3

холостого хода ориентировочно ожидается

/х.х = 0,07-515 = 36 а.

Так как в установке трансформаторы тока имеют коэффициент 600

трансформации -g- а, то на время измерения мощности холостого хода дополнительно установим высоковольтные трансформаторы 30 тока с меньшим коэффициентом трансформации, например -у а. Класс точности этих трансформаторов тока должен быть не ниже 0,5.

6 000

Установлены трансформаторы напряжения—jog- в.

Применим обычные ваттметры с пределами 5 а, 100 в, шкала 100 делений. Тогда

5-100 " 30 6 000

Свт = ~~~|qq~~~‘ = 5 вт/\ и К — 5--g-. 10Q • 10-’= 1,8 квт/\°.

При измерении мощности отсчеты по ваттметрам составили “1 = —45,5° и аг= + 55,5°.

Следовательно,

/-’х.х — 1,8 (55,5 — 45,5) = 18 кет; cos <fx.i - 0,05

определен по кривой рис. 5 для

33 \

= 33 а

^3-6,3-0,05

или /ц.х [о/о] равен gjg-100°/о^:6о/о Г [[7]](#footnote-8)

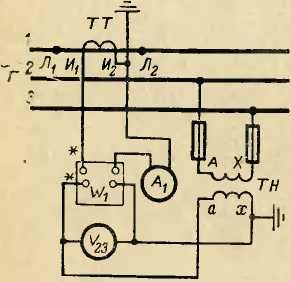


Рис 26. Измерение реактивной мощности одним ваттметром

Схема одного ваттметра применительно к трехфаз- ной высоковольтной установке без нулевого провода для симметричной и равномерной нагрузки и известном порядке чередования фаз изображена на рис. 26 и 7.

Реактивная мощность где /< = Свтйтт^тн-10~3 [лгва/7/1°].

Номинальный ток ваттметра 5 *а,* номинальное на­пряжение 100 *в.* Собирая схему, необходимо обращать внимание на полярность 'ваттметра и измеритель­**ных** трансформаторов.

**Схема двух ваттмет­ров** (рис. 13, 15 и 25), 'применяемая для измере­ния активной мощности при равномерной и сим­метричной нагрузке фаз, пригодна, как указыва­лось в § 1, для измере­ния реактивной мощно­сти. Если показания ватт­метров И] и аг, то реак­тивная мощность равна

Q=r3K(a2-ai),

где

/С = Свтйттйтн-10“8 *[квар[1°].*

В частных случаях, если измерительные трансформато­ры не применяются, то коэффициенты &тт и /гтн равны единице.

**Схема двух ваттметров с перекрещенными напря­жениями** пригодна для трехфазных трехпроводных уста­новок при симметрии фазных напряжений, для равно­мерной и неравномерной нагрузки фаз и при определен­ном порядке чередования фаз. Схема применительно к установке высокого напряжения приведена на рис. 27. **70**

Там же показана ее векторная диаграмма, из которой следует, что ваттметры измеряют мощность

Qi — 1 tAsCos (90° — ф) — C/23siп ф;

12COS (90° — ф) = /sf/igsin ф.

Общая измеряемая мощность равна:

где *К* определяется так же, как в предыдущих случаях (пример 1).

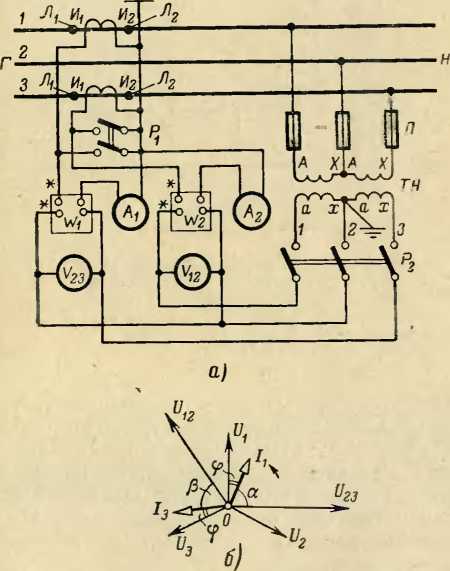


Рис. 27. Измерение реактивной мощности по схеме двух ваттметров с перекрещенными напряжениями. *а* — схема соединения приборов; *б —* векторная диаграмма

**Схема двух ваттметров с искусственной нулевой точ­кой** находит наибольшее применение при измерении ре­активной мощности в трехфазных трехпроводных уста­новках при равномерной и неравномерной нагрузке фаз, но при симметричной звезде фазных напряжений и опре­деленном чередовании фаз; она дает возможность по показаниям ваттметров определять cosq>.

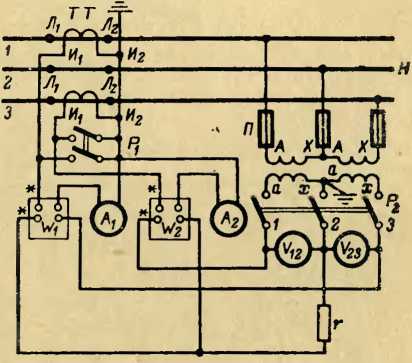


Рис. 28. Измерение реактивной мощности по схе­ме двух ваттметров с искусственной нулевой точкой.

г—магазин сопротивлений, по величине равный вну­треннему сопротивлению цепи напряжения каждого ваттметра.

Схема собирается из двух однотипных ваттметров и одного магазина сопротивления *г,* сопротивление ко­торого равно сопротивлению цепи напряжения каждого ваттметра. На рис. 28 схема дана применительно к установке высокого напряжения (см. также рис. 8).

Предел ваттметров по напряжению (обычно 75 *в)* выбирается по фазному напряжению трансформаторов напряжения.

Кривые зависимости показаний ваттметров от cosqx приведенные на рис. 9, дают возможность судить о ко­эффициенте мощности установки.

**Пример 17.** Измеряется реактивная мощность трехфазной ли­нии 6,3 кв, питающей предприятие. Установлены трансформаторы 15 6000

тока у а и трансформаторы напряжения "jog" в. Применим обыч­ные ваттметры активной мощности, которые включим по схеме двух ваттметров с искусственной нулевой точкой (рис. 28).

Возьмем ваттметры типа Д 539/1 класса 0,5 с пределами из­мерения 'по току 5 а и напряжению 75 в (цепи напряжения ватт­метров включены на фазное напряжение), .шкала 75 делений, номи­нальный ток (цепи напряжения ваттметра 0,003 а.

Тогда сопротивление г .в схеме на рис. 26 равно:

г = ~~0~~ ~~QQ3~~ = 25 000 ом.

В качестве этого сопротивления используем магазин сопротивления класса 0,1 или 0,2.

75

Постоянная ваттметра CBT = 5"g'—5 вар/\°.

Здесь, несмотря .на то, что взяты ваттметры активной мощности, постоянную этих ваттметров выражаем в вольт амперах реактивных (вар) на одно деление шкалы, так как эти ваттметры включены в схему для измерения реактивной мощности.

Коэффициент, .на который надо умножать показания ваттмет­ров (учитывающий включение через измерительные трансформато­ры), равен:

75 6 000

К = 5,-5 [ад—Ю-’ = 4,5 Keapf\°.

■При измерении сняты показания ваттметров

аг=47,5 и «2=19,5.

Измеряемая реактивная мощность равна:

Q = уз -4,5 (47,5 + 19,5) = 525 квар.

а2 19,5

Так как —-= 0,41, то по кривой рис. 9 определен

**cos у — 0,6.**

**Схема трех ваттметров дает** правильное измерение реактивной мощности для трехфазных трехпроводных и четырехпроводных установок при равномерной и не­равномерной нагрузке и при определенном порядке че­редования фаз, но при симметрии фазных напряжений и получила широкое применение в сетях низкого на­пряжения.

Схема приведена на рис. 29 для полукосвенного измерения, т. е. для измерения без трансформаторов напряжения.

Надо иметь в виду, что разность потенциалов меж­ду токовыми катушками ваттметра и подвижной рамкой цепи напряжения равна линейному напряжению. Со­гласно ГОСТ 8476-60 на ваттметры допустимое напря­жение между рамкой и токовой катушкой равно 600 в.

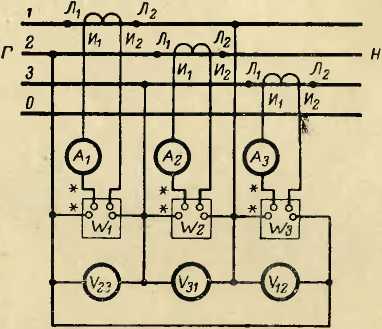


Рис. 20. Схема трех ваттметров для изме­рения реактивной мощности тречфазной четырехпроводчой установки.

Поэтому во избежание пробоя внутри ваттметра и ко­роткого замыкания, при линейных напряжениях, боль­ших 380 в, желательно применять трансформаторы на­пряжения или схему, приведенную на рис. 30, описан­ную ниже, где цепи напряжения ваттметров включены на фазное напряжение.

Измеряемая реактивная мощность определяется по выражению

*q К* (ai + «г + аз)

Гз

где щ, аг, аз — показания ваттметров со своими знака­ми и

7< = Свт/гтт-10"\* *[квар/\°\.*

**Схема трех ваттметров для четырехпроводных сетей.** На рис. 30 приведен вариант схемы трех ваттметров с использованием фазного напряжения, пригодный толь­ко для четырехпроводных установок при равномерной и неравномерной нагрузке и симметричной звезде фаз­ных напряжений. Особенностью этой схемы является необходимость одновременного измерения и активной

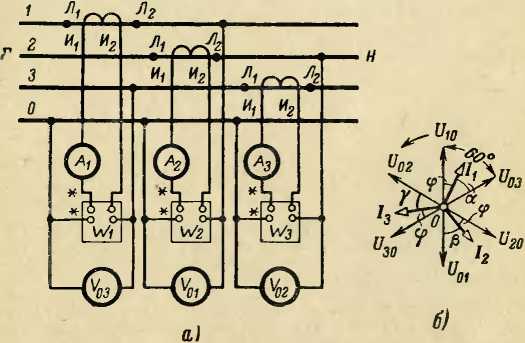


Рис 30. Вариант схемы трех ват гметров для измерения ре­активной мощности в рехфазной четырехпроводной уста­новке.

*а —* схема соединения приборов; *б* — векторная диаграмма схемы.

мощности, так как измеренное значение активной мощ­ности входит в подсчет реактивной мощности.

Измеряемая реактивная мощность при определенном порядке чередования фаз определяется по выражению

*Q =* (а, + а2 + а3)

**где** К определяется так же, как ранее;

Ра— активная мощность той же установки, измерен-' ная одновременно с измерением реактивной мощности.

Из векторной диаграммы, приведенной на том же рисунке, видно, что ваттметры измеряют мощность

*Р = ItUoa* cos (60° - <р) + *I2U0t* cos (60° - Т) +

*+ IsU02* cos (60° — <р) = *V* 3*IU* cos (60° — <p).

Производя тригонометрические преобразования и

\_ 2

умножая оое части равенства на , получаем:

*Р = IU* cos <р -|- *У 3/U* sin <р,  
*■^=P = Pa + ylQ,*

или

откуда



**Пример 18.** Измеряется активная и реактивная мощности трех­фазной четырехпроводной линии 380/220 в со смешанной нагрузкой. 200

Установлены трансформаторы тока -g- а.

Активная мощность, измеренная по схеме трех ваттметров (рис. 22), равна 79 кет. Для измерения реактивной мощности при­меним схему трех ваттметров с использованием фазных напряжений (рис. 28). Ваттметры применим обычные, активной мощности, на­пример типа Д 527/3, класса 0,5 с пределами по току 5 а и по напряжению 300 в, шкала 75 делений.

„ 5 300

Постоянная ваттметра Свт=-у^. 20 вар/\° и

200 „

Х = 20- 10-э = 0,8 квар/Г.

При измерении отсчитаны показания ваттметров а, = 61°, «2=43°, «33 = 60°.

Реактивная мощность равна:

2 Г 791

Q = 0,8(61 +43 + 60) — -g J= 105 кеар, [[8]](#footnote-9)

1. ОСОБЫЕ СЛУЧАИ ИЗМЕРЕНИЯ  
   МОЩНОСТИ

**Измерение мощности в цепях с повышенной часто­той тока.** В ряде производств и отраслей народного хо­зяйства (электротермия, лесная промышленность, ткац­кое производство и др.) применяется переменный ток повышенной частоты — 200, 400 *гц* и выше, вплоть до 8 000—9 600 *гц.* Это вызвано или необходимостью повы­шения скопости вращения электродвигателей[[9]](#footnote-10), или не­обходимостью облегчения веса и уменьшения размеров ручного электроинструмента, или технологическими осо­бенностями производства.

■При измерении мощности в цепях с повышенной ча­стотой применяются те же схемы, что и при измерениях в цепях с промышленной частотой 50 *гц,* но ваттметры при этом должны быть выбраны с номинальной областью частот, включающей рабочую частоту изме­рительной цепи.

Электроизмерительные приборы переменного тока согласно ГОСТ 1845 59 (Приборы электроизмеритель­ные «Общие технические требования») выпускаются на одну номинальную частоту или на номинальную область частот. Выпускаются приборы и с расширенной областью частот.

В пределах номинальной области частот показания прибора не зависят от изменения частоты, В расширен­ной области частот допускается дополнительная по­грешность прибора, вызванная изменением частоты от границы номинальной области до любого значения в смежной части расширенной области. Численно эта погрешность в процентах не должна превышать значе­ния класса точности прибора. Так, например, для при­бора класса точности 0,5 допустимая погрешность в рас­ширенной области частот может доходить до 1%'- Но­минальная область частот обозначается на шкале при­бора путем подчеркивания чертой численных пределов области. Например, номинальная область частот обоз­начается: **45—65** *гц-,* номинальная и расширенная обла­сти; 20—**45—65—**200, где расширенная область опреде­ляется пределами 20-45 *гц* и 65 - 200 *гц.*

Если прибор рассчитан на применение только при номинальной частоте, то на шкале обычно обозначение о частичной применимости не наносится.

В приложении I приведены характеристики перенос­ных ваттметров, в том числе имеющих номинальную и расширенную области частот.

Пользуясь указанной таблицей, можно подобрать ваттметр с необходимой частотной характеристикой. Так, например, при измерении мощности в сети 200 *гц* могут быть применены ваттметры класса 0,5 типа Д 568, имеющие номинальную область частот от 45 до 2 500 *гц.* Если погрешность ваттметра может быть принята по­рядка 1%, то в этом случае можно использовать ватт­метр .Д-529 класса 0,5 с расширенной областью частот от 65 до 1 500 *гц.*

**Измерение мощности при наличии гармоник тока.** Появление .гармоник тока обусловливается, главным образом, нелинейными элементами, имеющимися в це­пи нагрузки. К нелинейным элементам относятся, на­пример, цепи со стальными сердечниками с большой индуктивностью (насыщенные магнитопроводы), газо­светные трубки, дуговые печи, преобразовательные установки, преобразующие переменный ток в постоян­ный и др. За последние годы широкое развитие полу­чила электрическая тяга на железных дорогах, число преобразовательных подстанций значительно увеличи­лось. В связи с этим увеличилась «засоренность» элек­трических сетей высшими гармониками и все чаще приходится сталкиваться с необходимостью измерения мощности в цепях с искаженной формой тока.

При измерении мощности в таких цепях возникают два вопроса: какая мощность должна быть измерена (только создаваемая основной частотой или же суммар­ная, включающая мощности отдельных гармоник) и ка­кая мощность может быть измерена (имея в виду воз­можности электроизмерительных приборов).

В большинстве случаев при измерении мощности установки, потребляющей несинусоидальный ток, стре­мятся определить полную активную мощность, потреб­ляемую установкой из сети (от генератора). Это вызва­но тем, что гармоники создают в установках дополни­тельные потери активной мощности, покрываемые энер­гией питающего генератора.

При несинусоидальном токе форма кривой напря­жения, действующего в той же цепи в общем сл\ чае, когда цепь содержит, кроме активного сопротивления, индуктивность и емкость, тоже несинусоидальна, но отличается от формы тока за счет различных амплитуд и фазовых сдвигов отдельных составляющих гармоник, определяемых параметрами цепи. Это объясняется тем, что индуктивное сопротивление прямо пропорционально частоте, а емкостное — обратно пропорционально. Так, если для основной частоты *fi* (первой гармоники) *xLl= 2nfiL,* то, например, для пятой гармоники

Хь5=2л/зТ = 2n5fiL или

*XL5= 5Хц.*

■При неизменной величине активного сопротивления

х г | *х г* г, *5х , |*

или

tg(₽3='5tg<pi,

т. е. с увеличением частоты увеличивается и фазовый сдвиг в цепи для данной гармоники по сравнению с основной частотой.

В частном случае при активной нелинейной нагруз­ке (например, дуга) форма тока и напряжения одина­кова.

При питании установки от мощной электрической системы сопротивление цепи с первичной стороны трансформатора, питающего нелинейную нагрузку, пре­небрежимо мало, вследствие чего при несинусоидальном токе нагрузки форма первичного напряжения практиче­ски синусоидальна.

В трехфазных установках при симметричной нагруз­ке в междуфазовом напряжении, независимо от схемы соединения генератора или трансформатора (в звезду или треугольник), отсутствуют третья гармоника и все высшие гармоники, ей кратные. Это объясняется тем, что фазовые напряжения третьей гармоники во всех трех фазах генератора или трансформатора совпадают между собой во времени по фазам. А так как между- фазное напряжение при соединении в звезду опреде­

ляется геометрической разностью двух фазовых напря­жений, то для третьей гармоники эта разность, равная арифметической разности, равна нулю. При соединении в треугольник потенциалы вершин треугольника для третьей гармоники относительно друг друга равны ну­лю, так как э. д. с. третьей гармоники в каждой фазе равна и 'противоположна падению напряжения от тока третьей гармоники. Сказанное справедливо и для всех высших гармоник, кратных трем.

Так как токи третьей гармоники и ей кратные тоже ■совпадают между собой по фазе, то в линейных токах трехфазной трехпроьодной системы, равномерно нагру­женной по фазам, эти гармоники также отсутствуют. Эти гармоники замыкаются в обмотках трансформато­ра (генератора), соединенных в треугольник, создавая дополнительные потери в трансформаторе.

**Из сказанного следует,** что при измерении мощно­сти в трехфазных установках при наличии в цепях гар­моник (искаженная кривая тока), как правило, сле­дует измерять мощности каждой фазы по схеме трех ваттметров, используя фазные (а не линейные) напря­жения. Общая мощность установки равна сумме мощ­ностей отдельных фаз.

При этом надо учесть, что схема трех ваттметров с искусственной нулевой точкой, образованной цепями напряжений ваттметров, соединенными в звезду, не дает возможности измерения мощности составляющи к третьей и ей кратных i армоник, поскольку в цепях на­пряжения ваттметров при симметричной нагрузке отсутствуют токи указанных гармоник по причине, ука­занной выше.

Теперь кратко рассмотрим поведение электроизмери­тельных приборов при измерении в цепях с гармоника­**ми.** Все измерительные приборы переменного тока гра­дуируются в действующих значениях синусоидального тока. При несинусоидальной форме кривой тока пока­зания приборов, в зависимости от их принципа дейст­вия, могут отличаться от показаний при синусоидаль­ной форме тока.

Как известно, наиболее распространенные ампер­метры и вольтметры электромагнитной и электродина­мической систем измеряют действующее значение (т. е. среднее квадратичное) периодического тока или напря- «0жения любой несинусоидальной формы, т. е. их момент вращения пропорционален сумме квадратов действую­щих значений токов или напряжений всех гармоник, включая первую, т. е. основную частоту. При этом рас­ширенная область частот прибора должна перекрывать частоту гармоники высшего порядка, содержащейся в токе (напряжении). Ваттметры электродинамической (ферродинамической) системы обладают особым свой­ством. Если в цепи тока и в цепи напряжения проходят периодические токи, содержащие одни и те же гармо­ники, то ваттметр измеряет сумму средней активной мощности основной частоты и мощности всех гармоник, содержащихся в цепях тока и напряжения. Если же в цепи тока ваттметра проходит несинусоидальный ток, а в цепи напряжения синусоидальный ток основной частоты (пропорциональный напряже­нию), то ваттметр измеряет среднюю мощность тока только основной частоты. Присутствие гармоник в цепи тока ваттметра проявится лишь в дрожании или «раз­мытии» стрелки около отметки шкалы ваттметра, соот­ветствующей значению мощности основной частоты. Вообще же при несинусоидальном токе ваттметр изме­ряет мощность той гармоники, которая подводится к цепи напряжения (или наоборот). При измерении мощности несинусоидального тока расширенная область частот ваттметра также должна соответствовать часто­те высшей гармоники, содержащейся в токе.

Перечисленные соображения должны учитываться при измерении мощности в цепях с несинусоидальным током.

Рассмотрим в качестве примера измерение мощно­сти, потребляемой преобразовательной установкой тя­говой подстанции, питающейся от мощной энергосисте­мы. Принципиальная схема установки приведена на рис. 31,а.

Измерение мощности производится с первичной сто­роны анодного трансформатора, с тем чтобы учесть и потери в трансформаторе. На рис. 31, *б* приведены осциллограммы тока и фазного напряжения в первич­ной и вторичной обмотках анодного трансформатора. Из осциллограммы видно, что фазное напряжение с первичной стороны имеет практически синусоидаль­ную форму, а на вторичной стороне явно несинусои- 6—475 81дально и, следовательно, содержит гармоники. Первич­ный и вторичный несинусоидальные токи по своей фор­ме отличаются мало. Учитывая, что фазное напряжение установки синусоидально и, следовательно, синусои­дально и междуфазное напряжение, можно наперед сказать, что измеренная активная мощность, несмотря

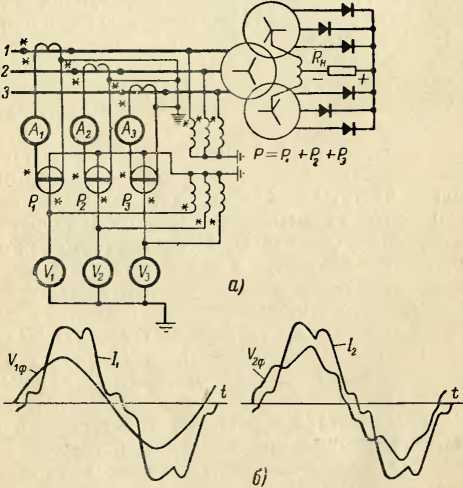


Рис. 31.

*а* — схема измерения мощности прн наличии гармоник; *б —* форма кривой тока нагрузки, первичного н вторичного фаз­ных напряжений анодного трансформатора для условной шестнфазной преобразовательной установки.

на наличие гармоник в цепи тока, будет равна мощно­сти, обусловливаемой только основной частотой тока. Мощность потерь в трансформаторе, определяемая высшими гармониками, полностью замерена не будет. В этом случае для измерения мощности может быть применена обычная схема двух ваттметров.

При необходимости определения коэффициента мощности его можно вычислить или по значениям тока, напряжения и мощности, или же по значению тангенса, 82

определяемого отношением реактивной мощности к активной[[10]](#footnote-11). Значение коэффициента мощности, опре­деленное по первому способу, будет меньше по сравне­нию со значением, определенным по второму способу. Это объясняется тем, что измеренное электромагнитным или электродинамическим амперметром значение тока, равное действующему значению, определяемому всеми гармониками, будет больше действующего значения то­ка основной частоты. Значение коэффициента мощно­сти, определяемое по данным измерения активной и реактивной мощности, будет соответствовать коэффи­циенту мощности, определяемому по показаниям счет­чиков активной и реактивной энергии.

Измерение реактивной мощности может быть осу­ществлено 'по одной из ранее описанных схем, учиты­вая, что система напряжений симметрична.

**Измерение мощности при сложной асимметрии нагрузки.** Рассмотрим измерение мощности примени­тельно к тяговой подстанции переменного тока, пред­ставляющей собой характерный пример неравномерной и несимметричной нагрузки.

Принципиальная схема такой подстанции приведена на рис. 32. Как видно из схемы, две фазы (/, 3) тяго­вого трансформатора питают троллейные провода, а третья фаза (2) подключена к рельсам и заземлена. Нагрузкой между фазами *1—2* и *2—3* являются элек­тровозы переменного тока (с установленными на них преобразователями). .Между фазами *1—3* для чисто тя­говой подстанции нагрузки не бывает.

Рассматривая схему питания электровозов, мы уста­навливаем, что эта схема, несмотря на то, что одна фа­за заземлена, представляет трехфазную, трехпроводную уравновешенную систему, а, следовательно, в этом слу­чае может быть применена обычная схема двух ваттмет­ров (схема Арона).

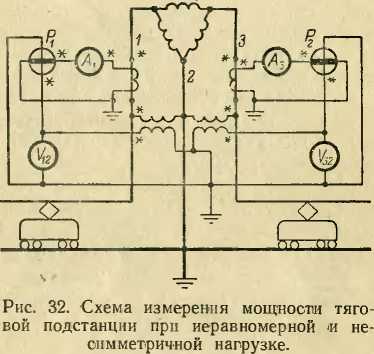
Покажем, что при любой асимметрии нагрузки изме­рение мощности по этой схеме будет правильным.

Примем крайний случай неравномерности, когда на­грузка имеется только между фазами *1—2.* Междуфаз-ные напряжения при этом между собой не равны, ну­левая точка звезды фазовых напряжений смещена.

Как показывалось выше, для схемы двух ваттмет­ров, если брать мгновенные значения токов и напря­жений, всегда справедливо следующее равенство:

Pi+Р2 = 1'1 (ui — иг) +1&(Из — мг) и t’i+42+1'3,=0.

Так как в нашем случае г’з=0 и Р2=0,



|  |  |
| --- | --- |
| то | Pi— *i\U\—* и Л=—^2> |
| откуда | Р = Р1 = Й«1+^2 |

или в действующих значениях

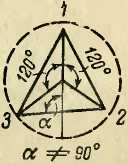
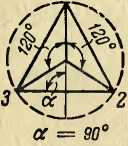
P = /lt7tCOS cpi *+I2U2COS* <f>2,

где *I\U\ и I2U2 —* фазные токи и напряжения фаз *1* и *2,* а ф1 и <р2 — соответствующие фазовые сдвиги между то­ками и напряжениями.

Таким образом, мощность, измеренная по схеме Арона, равна действительной мощности, потребляемой нагрузкой (мощность трехфазной нагрузки всегда рав- 84

на сумме нагрузок каждой фазы. В данном случае фа­за *3* ненагружена).

Теперь рассмотрим измерение реактивной мощности для случая сложной асимметрии. Как выше говори­лось, для измерения реактивной мощности используются ваттметры активной мощности, включаемые по спе­циальным схемам. Все эти схемы основаны на том, что при симметричной звезде фазных напряжений, когда по величине все фазные напряжения равны и углы между ними равны по 420° векторы фазных напряжений пер­пендикулярны соответствующим междуфазным напря­жениям. На ,рис. 33 видно, что фазное напряжение *1* перпендикулярно междуфазному напряжению *2—3* и т. д. Если же фазные напряжения не равны между собой, или не равны фазовые сдвиги между векторами фазных напряжений, или же имеет место то и другое, то угол между фазными и соответствующими между- фазными напряжениями уже не равен 90°. Поэтому все схемы измерения реактивной мощности, основанные на получении 90° сдвига между фазными и междуфазными напряжениями, оказываются непригодными для случая сложной асимметрии, так как вносят большую схемную погрешность.



*1*

Рис. 33. Нарушение 90° сдвига между *Ui* и *Ua* только за счет неравенства фазных напряжений по величчие.

Приближенно максимально возможную схемную погрешность при измерении реактивной мощности по схеме трех ваттметров или по схеме двух ваттметров с искусственной нулевой точкой (рис. 28, 29) можно оценить по выражению [Л. 3]:

где е — степень несимметрии по напряжению; т] — степень несимметрии по току.

Приближенно

**\* 6/12 £7ср ,**

**°12 77 > °23** *J] >*

**Ucp Ucp**

где

Ucp r, £A2 + 1/2j+£A1

'31~~Jp ’ cp“ 3

Аналогично определяется т; для токов, подводимых к счетчику. Определим максимальную схемную погреш­ность при измерении реактивной мощности применительно к случаю нагрузками только между фазами *1—2.* Примем для этого случая *Ut,:U,.:U,., —* 90:105:105 и /.:/,:/3 =

1ПЛ1ПЛП ГТ 90+ 105 + 105

= 100:100:0, тогда (7ср=— 3 = 100;

. 90— 100 ni R R 105— 100 пп-

~~100~~ = ~°’1; 823 = 331= 1оо -0,05

и

е\_^/~ 2(0,Р +0,05а + 0,05а) 0 р

200 с-7 s s 100 — 67 „ к

ср=-д-=67; 61 = В2=—— =0,5;

\* \_ 67 \_ 1  
8’-~67-1

и -^l/2^ + °-52+12)^1

Принимая для нагрузки cos(pCp=0,8 (sin <рСр=0,6), найдем наибольшую возможную схемную погрешность

Как видно из примера, погрешность при измерении ре­активной мощности, независимо от точности самих ватт­метров, может достигать недопустимых значений.

Точное измерение реактивной мощности в таких слу­чаях возможно только при помощи так называемых 86

«синусных» ваттметров, имеющих внутренний 90° сдвиг. К. сожалению наша промышленность такие ваттметры не выпускает.

Все сказанное целиком относится и к учету реактив­ной энергии, поскольку «синусные» счетчики (с внут­ренним углом 180е) нашей промышленностью также не выпускаются. При измерении мощности на тяговых подстанциях переменного тока необходимо также учи­тывать наличие в цепях нагрузки гармоник, создавае­мых преобразовательными установками электровозов.

1. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ  
   ПРИ ПОВЕРКАХ ВАТТМЕТРОВ

.Все ваттметры, как щитовые, так и переносные, раз­деляются на две основные группы: ваттметры непосред­ственного включения и ваттметры, включаемые через измерительные трансформаторы.

Ваттметры непосредственного включения могут вы­полняться примерно для токов до 50 *а* и напряжений до 400 *в* и, следовательно, могут измерять мощность в трех­фазных установках порядка Р= рЛЗ-50 • 400-0,85 ■ 10-3 = = 30 *кет* (принят cosq>=0,85). Затрачивать такую мощность при поверке ваттметров нерационально. По­этому поверку ваттметров любой мощности производят в искусственной схеме, с разделенными цепями тока и напряжения. Токовая нагрузка создается в отдельной низкоомной цепи, питаемой пониженным напряжением (несколько вольт), благодаря чему мощность, затрачи­ваемая в этой цепи, невелика. Цепи напряжения созда­ются в высокоомной цепи с номинальным напряжением ваттметра, и потеря мощности в этой цепи в основном определяется потреблением цепей напряжения, которое невелико.

При поверке ваттметров применяют либо метод сли­чения, либо компенсационный метод.

**Метод сличения.** Поверка всех щитовых и перенос­ных ваттметров невысокого класса точности производит­ся методом сличения их показаний с показаниями образцового ваттметра.

Ваттметры, предназначенные для включения через измерительные трансформаторы, имеют вторичный но­минальный ток 5 *а* (или 1 *а)* и вторичное номинальное

напряжение 100 *в.* Шкала градуируется с учетом коэф­фициентов трансформации трансформаторов тока и трансформаторов напряжения и cos ср — порядка 0,8— 0,9, так как ваттметр измеряет мощность P=L7cosq), где /cos ср— активная составляющая полного тока *I* нагруз­ки, зависящая от coscp. Если ваттметр отградуировать для значения cos<p=J, то при номинальном токе *I* и на­пряжении *Un* ваттметра и coscp, например, равном 0,8, показания ваттметра ‘будут составлять 80% полного.

Можно отградуировать ваттметр для значения тока, например, 0,8/н, и тогда при cos? = 0,8 показание ватт­метра будет 1000/о- При cos? = 0,7 (при тех же 0,8/н и *UB)* активная мощность будет меньше и показание ватт- 0 7

метра будет 100с/о = 88°/0. Но при cos?=0,99 актив­ная мощность будет больше и стрелка ваттметра уйдет за шкалу.

Трехфазные ваттметры градуируются, исходя из вы­ражения мощности трехфазного тока *Р=* '/ЗП/cos?, при­чем активная составляющая тока, т е. значение cos?, подбирается так, чтобы предел измерения ваттметра соответствовал ближайшему меньшему числу стандарт­ного ряда чисел. Например, мегаваттметр с пределом измерения 30 *Мет,* предназначенный для включения , 3 000 6 000

с измерительными трансформаторами —5 *а* и -*в,* 30-Ю’ „ П£?

градуирован для значения cos?=—-= 0,96, т. е.

*у* 3 • 6 • 3 000 для значения активного тока 0,96-3000 = 2 860 *а.*

Однофазные переносные ваттметры, включая и ла­бораторные, несмотря на малое потребление мощности (примерно 600 вг), также поверяются в схемах с раз­деленными цепями тока и напряжения из-за удобства регулировки в таких схемах тока и напряжения.

На рис. 34 для примера показана схема поверки трехфазного ваттметра активной мощности, предназна­ченного для включения с трансформаторами тока и трансформаторами напряжения.

Цепь тока состоит из трех понижающих нагрузочных трансформаторов TH 220/12 *в,* мощностью 100—500 *ва,* включенных для уменьшения гармоник по схеме звез­да— треугольник, трех регулировочных автотрансфор- 88

маторов *А1\* типа ЛАТР-2 и трех выравнивающих на­грузку низкоомных реостатов с сопротивлением поряд­ка 1—2 *ом,* 10 *а.*

Цепь напряжения состоит из фазорегулятора *ФР,* на­пример типа ФР 64 4 220 *в,* 1 *ква,* соединенного также по схеме звезда — треугольник, и трех регулировочных автотрансформаторов *АТ2* типа ЛАТР-2, включенных в звезду со стороны вторичной обмотки фазорегулятора.

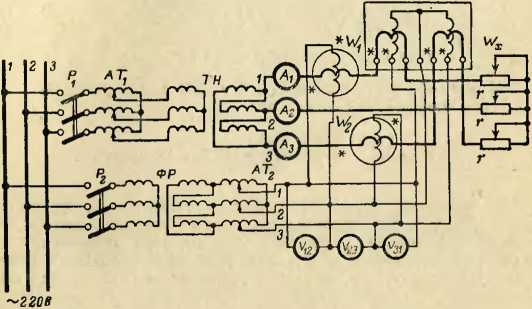


Рис. 34. Схема поверки трехфазного ваттметра.

Пределы регулировки такой схемы обеспечивают не только поверку ваттметров с вторичным током 5 а и вторичным напряжением 100 в, но и ваттметров непо­средственного включения на токи до 50 *а.*

Образцовые приборы по своему классу точности должны быть не менее чем в 3 раза выше классом по­веряемого прибора. Например, если поверяется ватт­метр класса 1,5, то в качестве образцового необходимо применить ваттметры класса 0,5 и т. д.

Образцовые ваттметры соединяются по схеме двух ваттметров (схема Арона). Коэффициент образцовых ваттметров, т. е. число ватт или киловатт на одно деле­ние их шкалы, определяется исходя из коэффициентов трансформации трансформаторов тока и трансформато­ров напряжения поверяемого ваттметра (указано на его шкале) и постоянной самого образцового ваттметра, т е.

К = Свт^Тт^тн-10 3 [кв//г/1°],

7—475 89

причем

где /н и *UB—*номинальные ток и напряжение образцо­вого ваттметра;

«н — номинальное (полное) число делений шкалы образцового ваттметра.

**Пример 19.** Поверке подлежит трехфазный щитовой ваттметр со шкалой 30 000 кет (30 Мет), включаемый с трансформаторами тока а и трансформаторами напряжения -jgg- в.

Образцовые ваттметры взяты 5 а, 100 в, 100 делений.

Тогда коэффициент ваттметра

,, 5-100 3 000 6 000

100 ' 5 100 10 ’= 180 квтЛ°-

Поверка ваттметров производится согласно инструкции при cos ср=1 05 и 0. Эти значения cos <р легко устанавливаются по по­казаниям образцовых ваттметров 1рис. 5). При cos <p=il показания ваттметров одинаковы .и положительны (+01 = 4-02). При cos <р= =0,5 показания одного ваттметра равны нулю (oi=0). Пои cos <р= =0 показания обоих ваттметров равны, но противоположны <по знаку.

При поверке напряжение на зажимах ваттметра устанавливает­ся поминальным и поддерживается по вольтметрам; регулировка производится в цепях тока.

**Компенсационный метод.** Поверка образцовых и ла­бораторных ваттметров класса 0,1, 0,2 и 0,5 производит­ся на потенциометрической (компенсационной) установ­ке постоянного тока также в схеме с разделенными це­пями тока и напряжения.

Поверку можно производить на одном потенциомет­ре, которым поочередно измеряются ток и напряжение в цепях поверяемого ваттметра. Так как при поверке напряжение на зажимах ваттметра поддерживается все время номинальным, а изменяется ток, то напряжение, раз установленное по потенциометру, далее периоди­чески контролируется по этому же потенциометру. Этот контроль рекомендуется производить после поверки каждой точки шкалы ваттметра. Также периодически проверяется постоянство рабочего тока потенциометра.

Так как предел измерения потенциометра по напря­жению обычно не превышает 2 в, то для измерения на- 90пряжения ваттметра применяется делитель напряжения. Коэффициент делителя *Кл* выбирается так, чтобы напря­жение, снимаемое с делителя, было меньше номинально­го предела потенциометра и в то же время чтобы отсчет на потенциометре производился не менее как на четы­рех декадах. Для измерения тока 'применяется образ­цовая катушка сопротивления 'ГОб, включаемая последо­вательно с токовой цепью поверяемого ваттметра.

Величина сопротивления образцовой катушки гОбвы­бирается исходя из предела измерения по току поверя­емого ваттметра /и и предела измерения потенциомет­ра Ди

При выборе катушки необходимо выдержать следую­щие условия:

Сц^об^С^и, /нГоб>20 Мв И /н /"об < Рк.н>

где *Рк.п —* допускаемая мощность катушки для своего класса точности (для класса 0,05РК.Н=3 *вт).*

Измеренное значение тока определяется по выраже­нию

/“об

где Це]— показание потенциометра при измерении па­дения напряжения на образцовой катушке сопротивления.

Принципиальная схема включения приборов при по­верке ваттметра на потенциометре показана на рис. 35. Если имеется оборудованная потенциометрическая уста­новка в виде стенда, то включение прибора производит­ся согласно инструкции по пользованию этим стендом.

Измеренная мощность в ваттах определяется по вы­ражению

Р=— *U,,к •*ГоЕ

где *Ui* и *Uv —* показания потенциометра в вольтах при измерении тока и напряжения.

Подбор образцовой катушки удобно производить, ру­ководствуясь табл. 3.

7\* 91

Измерение упрощается, и точность поверки повы­шается, если для измерения напряжения на зажимах ваттметра применить цифровой вольтметр класса 0,02 с автоматическим выбором предела измерения и поляр-

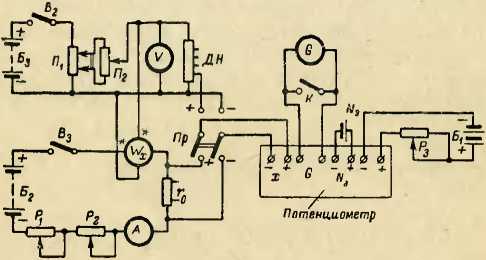


Рис. 35. Схема поверки лабораторного ваттметра на потенциомет­рической установке.

— поверяемый ваттметр; *ДН —* делитель напряжения; *rQ* — образцовая ка­тушка сопротивления; *Пр* — переключатель потенциометра с цепи тока на цепь напряжения ваттметра; *Hi* и *П?* — реостаты в цепи напряжения; *Pi* и *Р2 —* реостаты в цепи тока; *Р3 —* реостат в цепи рабочего тока потенциомет­ра; *Бх —* батарея рабочего тока; *Бг* — аккумуляторная батарея в цепи тока; *Б3 —* аккумуляторная батарея или стабилизированный выпрямитель в цепи напряжения; - ■ нормальный элемент; G — нуль-гальванометр; *К—*кнопка для успокоения гальванометра; *В-2 —* выключатель в цепи напряжения; *В3—* выключатель в цепи тока.

пости, например типа Ф 700. с пределами измерения от 1 до 1 000 в. В этом случае потенциометр используется только для измерения тока.

Таблица 3

**Выбор образцовых катушек сопротивления  
при поверке ваттметров**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Предел измерения ваттметров по току /, *а* | го6- °м | *и, в* |
| 50—20 | 0,001 | 0,05—0,02 |
| 15—5 | 0,01 | 0,15—0,05 |
| 5—1 | 0,1 | 0,5—0,1 |
| 1—0,1 | 1 | 1—0,1 |
| 0,1—0,01 | 10 | 1—0,1 |
| Q,01—0,001 | 100 | 1—0.1 |

**Пример 20.** Потенциометрическая установка с потенциометром типа ППТВ/1, имеющим пределы измерения от 10 мкв до 1,2 в (че­рез 10 мкв), и делителем напряжения до 600 в с коэффициентом деления 10, 100 и 500. Проверяется ваттметр типа Д 539/5 класса **0** 5 с пределами измерения по току 0,5 а ,и по напряжению Г50 в, шкала 75 делений. Поверка производится на отметке шкалы 75 делений, чему соответствует мощность Рн = 0.5 • 150=75 вт.

По приведенной таблице выбираем образцовую катушку г0 = =<1 ом.

*Ubzt-г* 150

Определяем коэффициент делителя jj у=‘125.

'Выбираем ближайшее большее значение /<д =500.

Производим измерение напряжения, подведенного к цепи на­пряжения ваттметра, £/=0,3 в.

Переключая потенциометр на цепь тока, измеряем падение на­пряжения на образцовой катушке 77/=0,5 в.

Тогда истинное значение мощности на отметке 75 шкалы ватт- 0,5

метра 'равно Р= -у • 0,3 • 500=75 вт.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ,  
   ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ПРИБОРАМИ

В каждом указывающем электроизмерительном при­боре при измерении расходуется некоторая мощность, отбираемая из цепи, в которой производится измерение. Эта мощность затрачивается на механическую энергию отклонения подвижной системы прибора, на создание магнитных потоков и на нагрев цепей прибора. Мощ­ность, потребляемая переносными приборами, при не­правильном их использовании может привести к боль­шой погрешности измерения. Поэтому для правильного использования прибора необходимо знать потребляемую им мощность. Она зависит от угла отклонения стрелки прибора и достигнет номинального значения при номи­нальном угле отклонения. В связи с этим для перенос­ных (лабораторных) приборов более удобным является выражение потребляемой мощности для токовых цепей посредством номинального падения напряжения, а для цепей напряжения — номинального тока.

Если необходимо определить мощность цепей при­бора, то она обычно определяется как полная мощность в вольт-амперах для токовых цепей путем перемноже­ния номинального тока прибора на номинальное паде­ние напряжения в токовой цепи (подлежит определе­

нию) и для цепи напряжения — путем .перемножения номинального напряжения прибора на номинальный ток цепи напряжения (подлежит определению).

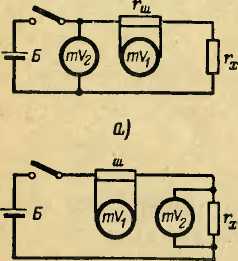
**Сопротивление приборов и точность измерения.** По­кажем, насколько может исказить результат измерений сопротивление прибора.

**Пример 21.** Допустим, мы измеряем по методу амперметра- вольтметра сопротивление обмотки гх мощного трансформатора. В качестве амперметра применили милливольтметр mVi 45 мв с шун­том гш 7,5 а и для измерения напря­жения применили такой же милли­вольтметр mV2 45 мв с внутренним сопротивлением 10 ом. Схема изме­рений показана на рис. 36,а.

При установленном токе 4 а по­казания милливольтметра оказались 44 мв, откуда

44-10-’

0,011 ом.

Однако сопротивление ампер­метра, исходя из его номинальных данных /н = 7,5 a, UB = 45 мв, равно \_ 45-10-’

*б)*

Рис. 36. Схема измерения малых сопротивлений по ■методу амперметра — вольтметра.

*а* — неправильная; б — пра­вильная.

y-g 0,006 ом и, следо­

вательно, истинное сопротивление обмотки составляет

*Га*

гх = г — га = 0,011 — 0,006 = =0,005 ом.

Рассмотренный пример показывает, что без учета сопротивле­ния амперметра ошибка в измерении превышает 100% (измерено 0,011 ом вместо 0,005 олг).

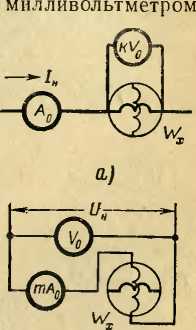
На рис. 36,6 показан правильный вариант схемы, не требую­щий внесения поправок, так как ток потребления милливольтметра, измеряемый амперметром, увеличивает ток измерения на малую ве­личину (несколько .миллиампер по сравнению с несколькими ампе­рами). В этом случае при токе 7 а показания милливольтметра ока­зались 35 мв, откуда сразу получается правильное значение изме­ряемого сопротивления .>

35-10-’

7

0,005 ом.

**Определение падения напряжения в амперметрах** может производиться милливольтметром с любым вну­тренним сопротивлением, так как ток, поотекающий че- 91

рез амперметр, измеряется им же (при испытаниях устанавливается полное отклонение стрелки) и не за­висит от тока, протекающего по параллельной цепи, образованной цепью милливольтметра тУг-

*6)*

Рис. J37. Определение параметров обмоток ваттметров. *а* токовой; *б —* на­пряжения.

Для амперметра постоянного тока падение напря­жения на его зажимах измеряется щли же потенциометрической уста­новкой. Для амперметров перемен­ного тока проще всего применить катодный милливольтметр с элек­тронным усилителем, например ти­па ЛВ-9 с пределами измерения от 10 *мв* и выше или аналогичный. Точность измерения может лежать в пределах 2,5—5%.

**Определение параметров ватт­метров.** При испытании ваттметров применяется схема, изображенная на рис. 37. При определении паде­ния напряжения в токовой цепи применяется катодный вольтметр типа ЛВ-9 или аналогичный; ам­перметр по пределу измерения дол­жен соответствовать номинальному току ваттметра, который при изме­рении и устанавливается.

Для лабораторных ваттметров, кроме общего падения напряжени определяется активное сопротивление ли индуктивность токовой цепи. Обычно это выполняется при помощи ком­пенсатора переменного тока. Для этой цели может быть использован компенсатор типа Р56 с пределами измере­ния 0,16 и 1,6 *в* (цена деления на меньшем пределеизме- рения составляет 0,1 *мв).* Этот компенсатор по принци­пу своего действия дает возможность измерять активную и реактивную составляющие измеряемого напряжения. Величина каждой составляющей непосредственно от­считывается по показаниям кабельных переключателей и лимбам оси *X* и оси У компенсатора при полной ком­пенсации измеряемого напряжения.

В ТОКОВОЙ

Измерение производится при номинальном токе, измеряемом амперметром, включенным последовательно с токовой цепью ваттметра.

Сопротивления обмоток в омах 'подсчитывается по выражениям: активное

индуктивное

полное (кажущееся)



Индуктивность в миллигенри

Z7V/

где *Ux* и *Uy —* .показания курбелытых переключателей компенсатора;

*f—*частота.

**Пример** 22. Определяются параметры токовой обмотки ватт­метра типа Д 542/4 па пределе 0,25 в. При установленном токе 0,25 а при компенсации отсчитываем по показаниям курбельных пе­реключателей и по лимбу оси X—{7х=0.652 в; по лимбу оси Y—Uy — =0,212 в.

т 0,652 п

Тогда г=- 0 25 =^2,6 ом,

0,212 0,848

х ~~0 25~~ ом, L= ~~2~~~~"gg~~ • Ю~3 2,7 мгн.

z = ^г.б2 + 0.8482 = 2,74 ojw.

При определении номинального тока цепи напряже­ния следует применить миллиамперметр с малым внут­ренним сопротивлением. Необходимо, чтобы гма< t Это условие легко выполняется, особенно если измере­ние провести на ‘постоянном токе, что возможно, так как сопротивление лабораторных и контрольных ваттметров является чисто активным (сопротивление миллиампер­метров постоянного тока значительно меньше сопротив­ления миллиамперметров переменного тока при одном и том же пределе измерения).

**Мощность, потребляемая щитовыми приборами,** опре­деляется в вольт-амперах. Исключение составляют цепи напряжения счетчиков, потребление мощности которых определяется в ваттах. Это связано с тем, что мощность, теряемая в цепях напряжения счетчиков, является поте­рей, которая в масштабах страны представляет внуши­тельную величину. Поэтому .предельное значение мощ­ности, теряемой в цепях напряжения счетчиков, норми­руется и согласно ГОСТ 6570 60 не должно превышать 1,5 *вт* на })азу для наиболее массовых счетчиков актив ной энергии классов 2,0 и 2,5

Щитовые .приборы косвенного включения являются нагрузкой на измерительные трансформаторы. Класс точности и трансформаторов тока и трансформаторов напряжения определяется для предельного значения нагрузки трансформатора для данного класса; с увели­чением нагрузки класс точности измерительных транс­форматоров снижается.

Так, например, длительная максимальная мощность трансформатора напряжения типа НОМ-6 6п00/100 *в,* 400 *ва.* Однако для того чтобы удовлетворить опреде­ленному классу точности, трансформатор должен быть нагружен значительно меньше. Классу точности 0,5 со­ответствует нагрузка 50 *ва\* при нагрузке 80 *ва —* класс 1,0 и при нагрузке 120 *ва —* класс 3,0

Еще резче зависимость класса точности от нагрузки проявляется у трансформаторов тока. Поэтому для рас­четного определения нагрузки измерительных трансфор­маторов необходимо знать мощность, потребляемую приборами. Определение мощности щитовых приборов производится по приведенным выше схемам при номи­нальных токах /ц и напряжениях *Ua* и определяется в вольтамперах по формуле РН=/ПС/Н.

Для щитовых приборов непосредственного включе­ния величина потребляемой мощности существенного значения не имеет и обычно не определяется.

**Мощность, потребляемая в цепях напряжения счет­чиков,** определяется ваттметром по схеме рис. 38. Ватт­метр должен быть малокосинусный, так как катушка счетчика имеет большое реактивное сопротивление, и на малые пределы измерения по току. Из ваттметров, вы­пускаемых отечественной промышленностью, могут быть применены ваттметр типа Д 529/1, класс 0,5 с предела-

ми измерения по току от 50 *ма* и выше или малокоси­нусный ваттметр типа Д 542/1 с меньшим пределом измерения по току 250 *ма* и с 'пределами по напряже­нию от 30 до 300 *в.*

Результат измерения в ваттах определяется по по­казанию ваттметра в делениях путем умножения на по­стоянную ваттметра. Для малокосинусных ваттметров постоянная указывается на шкале ваттметра и не равна произведению тока на напряжение.

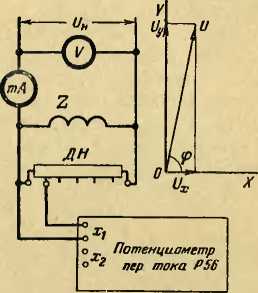
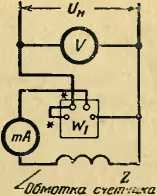


Рис. 38 Опреде­ление мощности, потребляемой цепью напряжения счетчика при по­мощи малокоси- ну'спого ватт­метра.

Рис. 39. Определение мощно­сти, потребляемой цепыо на­пряжения счетчика при помо­щи компенсатора 1переменного тока.

Определение активной мощности, теряемой в обмот­ке напряжения счетчика, может быть также произведе­но при помощи компенсатора переменного тока типа Р56 с применением делителя напряжения типа Р501. Пределы измерения делителя от 3 до 300 *в* выбираются в соответствии с номинальным напряжением катушки счетчика. Схема измерения приведена на рис. 39. Испы­туемая катушка включается на номинальное напряже­ние, измеряемое вольтметром V. Миллиамперметр mA измеряет ток, потребляемый катушкой. Напряжение к катушке подводится через делитель напряжения и измеряется по компенсационному методу.

Составляющая напряжения, отсчитываемая в момент компенсации по оси *X* компенсатора, является активной 98

составляющей напряжения, обусловливаемой потерями в меди и стали сердечника катушки. Если измеренный миллиамперметром ток, протекающий через катушку, равен /н, то потеря мощности в катушке равна:

*P=J>aUx* fem],

где *Ux —* отсчет напряжения по оси *X.*

Отсчет напряжения по оси У дает возможность опре­делить реактивную мощность катушки и ее собственный угол, т. е. угол сдвига между напряжением, приложен­ным к катушке и протекающим до ней током, а именно

*Q = IHUy[eap]* и tg<p = ^-.

По тригонометрическим таблицам определяется зна­чение угла <р.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ,  
   ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ОБМОТКАМИ РЕЛЕ

Мощность в вольт-амперах, потребляемая обмотками реле и характеризующая нагрузку на измерительные трансформаторы, определяется так же, как и для изме­рительных приборов (§ 9).

В отдельных случаях, например при испытании реле направления мощности, бывает необходимо определить собственный угол между током в обмотке напряжения и напряжением на ее выводах. Наиболее просто и точно это определение производится при помощи компенсатора переменного тока типа Р56 с делителем напряжения, так же как это было описано выше, применительно к катушке напряжения счетчика.

Определение собственного угла катушки напряже­ния может быть произведено также при помощи вектор- метра типа Ц50, имеющего пределы измерения по на­пряжению 0.15—300 *в,* по току 0,003—5 а и по углу сдвига фаз 0—360°.

Собственный угол катушки напряжения может так­же быть определен при помощи малокосинусного ватт­метра (рис. 38), например типа Д 542/1. Полная мощ­ность катушки S определяется в вольт-амперах по пока-

заниям миллиамперметра и высокоомного вольтметра, например типа Д 523/3 (ток потребления 3 *ма).* Если мощность, измеренная ваттметром, равна *Р,* то собст­венный угол катушки определения из соотношения *Р*

COSm =

о

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ БЫТОВЫХ  
   ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ

Мощность, потребляемая от сети радиоприемником, телевизором, холодильником, стиральной машиной, плиткой и т. п., может быть определена по квартирному счетчику электроэнергии.

Перед измерением мощности, например, телевизора все потребители электроэнергии, подключенные к дан­ному счетчику, должны быть отключены (лампы, радио­приемники и т. п., испытуемый телевизор). Это лучше всего сделать днем. При этом условии диск счетчика должен оставаться неподвижным и в окошке счетчика должна быть видна красная метка на ребре диска.

Затем включается телевизор: диск счетчика начинает вращаться Отсчитывается не менее 10 оборотов диска. Замечаются по секундной стрелке часов начало отсчета и конец отсчета.

Измеряемая мощность в ваттах определяется по формуле

p==3 600 N 1

п t

где *п—*передаточное число счетчика, т. е. число оборо­тов диска счетчика, соответствующее 1 *квт-ч* (указано на табличке счетчика);

*N—* число оборотов, отсчитанное за *t* секунд.

Пример 23. Требуется определить мощность, потребляемую те­левизором «Рубин». Телевизор включен на 127 в. Счетчик типа СО-2 110 а, 127 в; 1 кет ■ «=<1 250 оборотов диска.

Отсчитано М=10 оборотов диска за t=1165 сек,

3 600 10

тогда Р =

1 250\*165 1 000 = 175 вт'

При наличии амперметра мощность, потребляемая в ваттах плиткой, утюгом или лампой накаливания, определяется как произведение значения измеренного амперметром тока в амперах на номинальное напряже­ние сети в вольтах.

Для счетчиков старых выпусков и иностранных фирм иногда передаточное число счетчика выражается как 5 1 гектоватт-час *= п* оборотов диска. Тогда мощность

в ваттах определяется по формуле

р== 360 W 1000п t

Если же на табличке счетчика указано: «При *Р* ват­тах— *п* оборотов в минуту», то мощность по счетчику в ваттах определяется по формуле

п 60р N

г п ~Г'

1. ОСЦИЛЛОГРАФИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ

При проведении различных специальных испытаний, например таких, как испытание выключателей на раз­рывную мощность, исследование машин в режиме ко­ротких замыканий, исследование явлений, связанных с устойчивостью параллельной работы электростанций, и в других случаях необходимо измерять мгновенное значение мощности переменного тока.

Мгновенное значение мощности переменного тока

*L*

*p = ui = UMaKC* sin озДмакс sin *(wt* Ф) =

= Е ~~М~~~~акД~~~~м~~~~ак~~~~с C()S ?~~ ~~Емак^/макс~~ ~~=~~

*= UI* cos *<f — UI* cos (2t»Z -|- <р),

где ы=2л/ — угловая частота переменного тока.

Как видно из приведенного выражения, мгновенная мощность состоит из постоянной составляющей Д/cos ср, представляющей собой активную постоянную мощность,

101

и переменной составляющей *UIcos* (2ы/+<р), изменяю­щейся по гармоническому закону с двойной частотой в имеющей среднее значение за период, равное нулю. Ваттметр, включенный в цепь переменного тока, изме­ряет среднее значение активной мощности, равное про­изведению действующих значений тока и напряжения на косинус угла между ними.

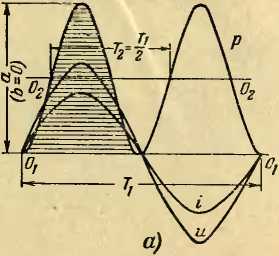
Переменная составляющая мощности не вызывает колебаний стрелки ваттметра, так как в силу своей инертности подвижная система не успевает следовать за колебаниями переменной составляющей мощности с ча­стотой 100 *гц.*

Для измерения мгновенного значения мощности в любой момент времени применяется осциллограф с вибратором [[11]](#footnote-12) мощности. Вибратор мощности представ­ляет собой обычную для вибраторов петлю (один ви­ток) с наклеенным посредине зеркальцем, помещенную в воздушный зазор электромагнита, и является по су­ществу ферродинамическим измерителем. Однофазный вибратор мощности имеет два зажима петли, включае­мой с добавочным сопротивлением в цепь напряжения, и два зажима обмотки возбуждения (электромагнита), включаемой в цепь тока. Конструкция вибратора обес­печивает пропорциональность магнитного поля измеряе­мому току и отсутствие собственного углового сдвига.

На рис. 40 изображены осциллограммы мощности синусоидального переменного тока для нескольких зна­чений cos ср. На осциллограммы мощности *р* наложены осциллограммы тока *i* и напряжения *и* и для расшиф­ровки осциллограммы мощности проводятся две нуле­вые линии: одна — нулевая линия вибратора мощности *0х—Ох* (она же нулевая линия синусоид тока и напря­жения) и вторая — нулевая линия кривой мощности 02—*0-\_.* Если обозначить двойную амплитуду кри­вой мощности в виде суммы *а + b,* где *а —* часть ампли­туды выше нулевой линии вибратора, *b —* часть ампли­туды ниже нулевой линии, то справедливы следующие соотношения:

1. Мгновенная мощность

*p—ui=K(a+b).*



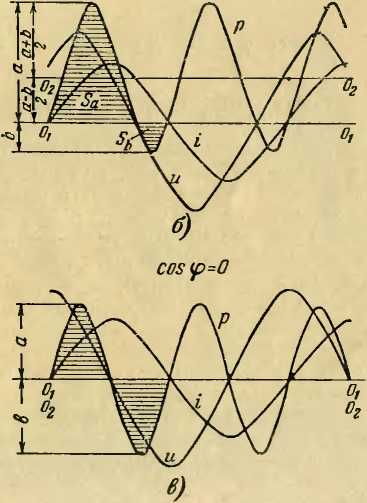


Рис. 40. Осциллограммы мощности. *а —* cos<p—I; б — cos ф—0.7; *в* — cos <р=0.

1. Полная (кажущаяся) мощносто

*S = IU=^=K^^-*

1. Активная мощность

г, *IT Т IS f* “Ь” /X *Tf f О' \*

*Р = IU* cos <р = *К I* —С *b* 1 = А ( —2—) •

1. Реактивная мощность

Q = /f/sin? = /S2 — *Р2 = К*

*- К у/ab.*

5.

***р а—Ь***

***COS<P—-^- = K 7-7-,***

‘ S а Н о ’

где *К —* постоянный коэффициент, зависящий от чувст­вительности вибратора.

При несинусоидальном токе (напряжении) кривая мощности также несинусоидальна. В этом случае при­веденные выше соотношения не верны и определение действительных мощностей может быть определено только по площадям, очерченным кривой мощности вы­ше и ниже нулевой линии вибратора. Определение мощ­ности производится планиметром, для чего осцилло­грамма снимается на достаточно большой скорости.

Так, например, если на осциллограмме площадь кривой мощности, расположенной выше нулевой ли- 1 нии, измеренная планиметром, равна *Sa мм2* и площадь, расположенная ниже нулевой линии, равна Sb лш2, при­чем длина по оси времени в первом случае равна *1\ мм* и во втором /2 *мм,* то активная мощность несинусои­дального тока может быть определена по выражению



Нашей промышленностью выпускается два типа однофазных вибраторов мощности Д1-Х1 и Д1-ХП, па­раметры которых приведены в табл. 4.

Таблица 4

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Едини­ца из­мерения | Тип вибратора Д1 | |
| XI | XII |
| Собственная часть вибратора в воздухе | *гц* | 2 200 | 2 200 |
| Чувствительность при длине луча 1 *м* Допустимое действующее значение тока | *мм!а2* | 400 | 4 000 |
| в петле | *ма* | 20 | 20 |
| Допустимое действующее значение тока |  |  |  |
| в обмотке электромагнита | *а* | 5 | 0,5 |
| Сопротивление петли не более .... Сопротивление обмотки электромагни- | *ом* | 7  0,07 | 7 |
| та на постоянном токе не более . . Сопротивление обмотки электромагни- | *ом* | 6,2 |
| 0,15 |
| та на переменном токе 50 *гц* не более | *ом* | 17 |

Для расшифровки осциллограмм, а также для выбо­ра добавочных сопротивлений и тока возбуждения перед осциллографированием необходимо знать постоянную вибратора, т. е. число ватт на 1 *мм* отклонения луча на фотобумаге или, что более удобно, число ампер в квад­рате на 1 *мм.*

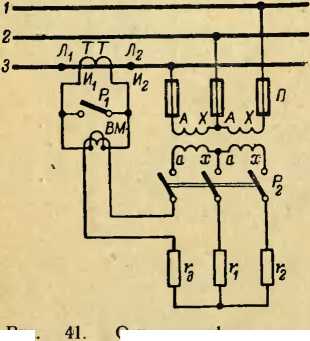
Постоянная вибратора есть обратная величина чув­ствительности и, например, для вибратора типа Д1-Х1 номинально равна:

*К=*^=0,0025 *аг1мм.*

Постоянная, выраженная в ваттах на миллиметр, находится путем умножения токовой постоянной на ве­личину добавочного сопротивления в цепи петли.

Добавочное сопротивление в цепи петли определяет­ся номинальным напряжением в схеме осциллографиро- вания и номинальным током петли вибратора. Так, на­пример, для вибратора типа Д1-Х1 (ток петли/н = 20 *ма)* при напряжении *И—*100 *в* добавочное сопротивление в цепи петли определится из выражения гд=  *гь =*

1 к

Пои этом надо иметь в виду, что при одном и том же действующем зна­чении тока отклонение луча вдвое меньше от по­стоянного тока по сравне­нию с переменным током, гак как на переменном то­ке луч отклоняется от ну­левой линии в обе стороны.

**100 7** л **лао «**

—УР2—7=4 993 *ом,* и тогда постоянная вибратора в ваттах будет равна:

*К*=0,0025-5000= 12,5 *вт/мм.*

Обычно для каждого вибратора мощности его по­стоянная определяется опытным путем на постоянном или на переменном токе для безреактивной нагрузки.

Рис. Осциллографирование

мощности в трехфазной системе одним вибратором мощности ВМ.

При осциллографиро- вании мощности трехфаз­ного тока применяются схемы такие же, как при измерении мощности од­ним ваттметром. Для примера на рис. 41 при­ведена схема осциллогра- фирования с искусствен­ной нулевой точкой применительно к установке высокого напряжения для равномерной и симметричной нагруз­ки. Здесь применен вибратор типа Д1-Х1 с номиналь­ным током 5 *а* для токовой цели (цепь возбуждения) и 20 *ма —* для цепи напряжения. Величина добавочного сопротивления в цепи петли гд= (|2—7=2883 *ом.*

Остальные сопротивления звезды сопротивлений

О =iT2=2890 ом.

Измеряемая мгновенная мощность одной фазы опре­делится по выражению

р = АУв^ТТ^Тн(<2 + ^) 10~3 =/С(<2-f- 6) ,  
*К'в —* постоянная вибратора *(вт[мм)* с добавоч-  
ным сопротивлением;

**где**

*krt* и Лтн — коэффициенты трансформации трансфор­матора тока и трансформатора напряже­ния;

*а+Ь —* двойная амплитуда (полный размах коле­баний) кривой мощности.

Расшифровка осциллограммы производится путем изменения амплитуд осциллограммы циркулем в милли­метрах в интересующие нас моменты времени и умно­жения полученного значения на пересчетный коэффи­циент Л=Л/^тт^тнХ 10-3 *[кет/мм].*

Значения активной, реактивной и полной мощности определяются по формулам, приведенным выше.

Точность измерения мощности вибратором относи­тельно невелика, и погрешность доходит до 3—5%'-

Для уменьшения погрешности необходимо размер двойной амплитуды кривой мощности устанавливать не менее 40—50 *мм,* исходя из того, что погрешность изме­рения амплитуд циркулем и линейкой производится с точностью до 0,2 *мм.*

Для повышения точности измерения весьма жела­тельно на той же 'пленке (бумаге) заснять масштаб мощности, т. е. заосциллографировать известное значе­ние мощности, измеренное по ваттметру.

В этом случае перед расшифровкой осциллограммы должен быть определен масштаб мощности (т. е. коэф­фициент *К)* путем деления известного значения актив- нои мощности на величину —*мм.* Определение мас­штаба должно производиться особенно тщательно пу­тем нескольких измерений и определения среднего зна­чения.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕНОСНЫХ ВАТТМЕТРОВ**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Номинальное напряже­ние, *в* | Номинальный ток, *а* | Пределы измере­ния, *вгп* | Данные токовой цепи | |
| Активное сопротивле­ние, *ом* | Индуктивное сопро­тивление, *мгн* |

Таблица 1-1

**Однофазные ваттметры**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Д580/1 | 75, 150, 300, 600 | 5, 10 | 375-4-6 000 | 0,0177, 0,0104 |
| Д580/2 | 75, 150, 300, 600 | 2,5,5 | 187,5-^3 000 | 0,025, 0,011 |
| Д580/3 | 75, 150, 300, 600 | 0,5, 1 | 37,5-4-600 | 0,105, 0,031 |
| Д580/4 | 75, 150, 300, 600 | 0,25, 0,5 | 18,75-4-300 | 0,46, 0,12 |
| Д580/5 | 75, 150, 300, 600 | 0,05, 0,1 | 3,75-4-60 | 12,47 3,13 |
| Д580/6 | 75, 150, 300, 600  **С** | 0,025, 0,05  **ерия Д566, класс** | 1,875-4-30  **0,2, длина шкал** | 57,4, 14,4 ы **160 *мм*** |
| Д566/11 Д566/12 Д566/13 Д566/14 Д566/15 Д566/16 | Номинал!  75, 150, 300  75, 150. 300  75, 150, 300  75, 150, 300  150, 300, 450  300, 450, 600 | >ный ток цепи нап] Номинальная об Расширенная об  5, 10  2,5, 5  0,5, 1,0  0,15, 0,3  2,5, 5  2,5, 5 | )яжения 30 *ма* (дл! пасть частот 45—5 ласть частот 500—  375-4-3 000  187,5-4-1 500  37,5-4-300  11,25-4-90  375-4-2 250 750-4-3 000 | Д566/16—15 *ма)* )0 *гц* 1 500 *гц* 0,016, 0,0075 0,032, 0,014 0,37, 0,097 4,03, 1,01 0,032, 0,014 0,047, 0,013 |

**Серия Д580, класс 0,2, длина шкалы 320 *мм***

Номинальный ток цепи напряжения 5 *ма* Номинальная область частот 45 -500 *гц* Расширенная область частот 500—1 000 *гц*

0,004, 0,001

0,0170, 0,004

0,105, 0,033

0,52, 0,13

12,7, 3,2

50,5, 12,6

0,008, 0,002 0,03, 0,008 0,8, 0,2 8,9, 2,23 0,03, 0,008 0,06, 0,015

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Номинальное напряже­ние, *в* | Номинальный ток, *а* | Пределы измере­ния, *вт* | Данные токовой цепи | |
| Активное сопротивле­ние, *ом* | Индуктивное сопро­тивление, *мгн* |

**Серия Д568, класс 0,5, длина шкалы 125** мм

Номинальный ток цепи напряжения 5 ма (для Д568/54-Д568/7—3 ма)  
Номинальная область частот 45—2 500 гц  
Расширенная область частот 2 500—5 000 гц

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Д568/1 | 15, 30, 75, 150, 300 | 0,1 | 1,5-5-30 | **4** | 1,5 |
| Д568/2 | 15. 30, 75, 150, 300 | 0,25 | 3,754-75 | 0,8 | 0,3 |
| Д568/3 | 15, 30, 75, 150, 300 | 0,5 | 7,5-4-150 | 0,2 | 0,07 |
| Д568/4 | 15, 30, 75, 150, 300 | 1,0 | 15-4-300 | 0,066 | 23-10-’ |
| Д568/5 | 15, 30, 75, 150, 300 | 2,5 | 37,5-4-750 | 0,066 | 23-10-’ |
| Д568/6 | 15, 30, 75, 150, 300 | 5 | 75-4-1 500 | 0,033 | 6,5-10-’ |
| Д568'7 | 15, 30, 75, 150, 300 | 10 | 1504-3 000 | 0,025 | 2-10-’ |

**Серия Д539, класс 0,5, длина шкалы ПО** *мм* Номинальный ток цепи напряжения 3 *ма* Номинальная область частот 45—65 *гц* Расширенная область частот 65—500 *гц*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Д539,1 | 30, 75, 150, 300 | 5, Ю | 150-4-3 000 | 0,02, 0,01 | 0,02, 0,01 |
| Д539/2 | 75, 150, 300, 600 | 5, 10 | 375-4-6 000 | 0,02, 0,01 | 0,02, 0,01 |
| Д539/3 | 30 , 75, 150 , 300 | 2,5, 5 | 754-1 500 | 0,03, 0,02 | 0,03, 0,02 |
| Д539/4 | 75, 150, 300, 600 | 2,5, 5 | 187,54-3000 | 0,03, 0,02 | 0,03, 0,02 |
| Д539/5 | 30, 75, 150, 300 | 1,2 | 304-600 | 0,08, 0,04 | 0,2, 0,05 |
| Д539/6 | 75, 150, 300, 600 | 1,2 | 754-1 200 | 0,08, 0,04 | 0,2, 0,05 |
| \_ Д539/7 | 30, 75, 150, 300 | 0,5, 1 | 154-300 | 0,1, 0,08 | 1,0,2 |
| S Д539/8 | 75, 150, 300, 600 | 0,5, 1 | 37,54-600 | 0,1, 0,08 | 1, 0,2 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Номинальное напряже­ние, *в* | Номинальный ток, *а* | Пределы измере­ния, *вт* | Данные токовой цепи | |
| Активное сопротивле­ние, *ом* | Индуктивное сопро­тивление, *мгн* |
| Д539/9 | 30, 75, 150, 300 | 0,25, 0,5 | *7,5—150* | 0,4, 0,1 | 4,1 |
| Д539/10 | 75, 150, 300, 600 | 0,25, 0,5 | 18,754-300 | 0,4, 0,1 | 4,1 |
| Д539/11 | 30, 75, 150, 300 | 0,1, 0,2 | 3-5-150 | 2, 0,5 | 20,5 |
| Д539/12 | 75, 150, 300, 600 | 0,1, 0,2 | 9,54-300 | 2, 0,5 | 20,5 |
| Д539/13 | 30, 75, 150, 300 | 0,05, 0,1 | 1,5-5-30 | 7, 2 | 70, 20 |
| Д539/14 | 75, 150, 300, 600 | 0,05, 0,1 | 3,75-5-60 | 7, 2 | 70, 20 |
| Д539/15 | 30, 75, 150, 300 | 0,025, 0,05 | 0,754-15 | 28, 7 | 280, 70 |
| Д539/16 | 75, 150, 300, 600 | 0,025, 0,05 | 1,8754-30 | 28, 7 | 280, 70 |
| Д539/17 | 30, 75, 150, 300 | 0,01, 0,02 | 0,34-6 | 160, 40 | 1200 , 300 |
| Д539/18 | 75, 150, 300, 600 | 0,01,0,02 | 0,754-12 | 160, 40 | 1 200, 300 |
| Д539/19 | 100, 300 | 5, 10 | 5004-3 000 | 0,02, 0,01 | 0,02, 0,01 |
| Д539/20 | 150, 300 | 5, 10 | 7504-3 000 | 0,02, 0,01 | 0,02, 0,01 |

**Серия Д529, класс 0,5, длина шкалы 170 мм**

Номинальный ток цепи напряжения 3 **ма**Номинальная область частот 45—65 **гц**Расширенная область частот 65—1 500 **гц**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Д529/1 | 37,5, 75, 150, 000 | 0,05, 0,1 | 1,8754-30 | 2, 0,5 | **4,1** |
| Д529/2 | 75, 150, 300, 600 | 0,25, 0,5 | 18,754-300 | 0.2, 0,2 | 0,4, 0,2 |
| Д529/3 | 37,5,75, 150, 300 | 0,5, 1 | 18,754-300 | 0,2, 0,2 | 0,2,0,05 |
| Д529/4 | 75, 150, 300, 600 | 2,5, 5 | 187,54-3 000 | 0,1, 0,05 | 0,08, 0,05 |
| Д529/5 | 37,5, 75, 150, 300 | 5, 10 | 187,54-3 000 | 0,05, 0,05 | 0,05, 0,02 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Номинальное напряже­ние, *в* | Номинальный ток, *а* | Пределы измере­ния, *вт* | Данные токовой цепи | |
| Активное сопротивле­ние, *ом* | Индуктивное сопро­тивление, *мгн* |

**Серия Д527, класс 0,5**

Номинальный ток цепи напряжения 30 *ма*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Д.527/1* | 150, 300 | 0,15, 0,3 | 22,54-90 | 6, 1,5 | 12,3 *мкгн* |
| Д527/2 | 150, 300 | 0,5, 1,0 | 754-300 | 0,6, 0,15 | 1, 0,25 *мкгн* |
| Д527/3 | 150, 300 | 2,5,5 | 3754-1 500 | 0,06, 0,03 | 0,04, 0,01 *мкгн* |
| Д527/4 | 150, 300 | 5, 10 | 7504-3 000 | 0,03, 0,01 | 0,01, 0,003 *мкгн* |

**Серия Д542, класс 0,5, малокосинусный (cos ун=0,1), длина шкалы**

**125 *мм***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 30, 75, 150, 300 | 0,25, 0,5 | 0,754-15 | 2,7, 0,7 | 2,7,0,7 |
| 30, 75, 150, 300 | 0,5, 0,1 | 1,54-30 | 0,7, 0,18 | 0,7, 0,18 |
| 30, 75, 150, 300 | 2,5, 5 | 7,54-150 | 0,07, 0,02 | 0,028, 0,002 |
| 30, 75, 150, 330 | 5, 10 | 154-300 | 0.03, 0,01 | 0,007, 0,002 |

Д542/1

Д542/2

Д542/3

Д542/4

Номинальный ток цепи напряжения 5 *ма* Номинальная область частот 45—65 *гц* Расширенная область частот 65—400 *гц*

**Серия Д522, класс 1,0, малокосинусный (cosyH=0,l), длина шкалы 170 мм**

Номинальный ток цепи напряжения 5 *ма* Номинальная область частот 45—55 *гц*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Д522/1 | 75, 150, 300, 600 | 0,25, 0,5, 1,0 | 1,8754-60 | 1,2, 0,3, | 0,08 | 2,7, 7,0, 0,12 |
| Д522/2 | 75, 150, 300, 600 | 2,5, 5, Ю | 18,754-600 | 0,056. 0,02 | 0,0055 | 30, 6,8, 1,7 |

**Трехфазные ваттметры**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Номинальное напряжение, *в* | Номинальный ток, *а* | Пределы измерения, *вт* | Данные токовой цепи | |
| Активное сопротивление, *ом* | Индуктивность, *мгн* |

**Серия Д558, класс 0,2, двухэлементный, длина шкалы 160 *мм***

Номинальный ток цепи напряжения 15 *ма* Номинальная область частот 45 — 65 *гц* Расширенная область частот 65 — 200 *гц*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Д558/1 | 100 | 5 | 1 000 | 0,014 | 0,014 |
| Д558/2 | 100 | 4 | 750 | 0,017 | 0,02 |
| Д558/3 | 150 | 5 | 1 300 | 0,014 | 0,014 |
| Д558/4 | 150 | 4 | 1 000 | 0,017 | 0,02 |
| Д558/5 | 100 | 1 | 200 | 0,16 | 0,32 |
| Д558/6 | 250 | 5 | 2 000 | 0,017 | 0,02 |
| Д558/7 | 375 | 5 | 3 000 | 0,017 | 0,02 |

**Серия Д582, класс 0.5, трехэлементный, длина шкалы 130 *мм***

Номинальный ток цепи напряжения 5 ма Номинальная область частот 45 — 60 гц

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Д582/1 | 100, 125, 250, 375 | 0,25. 0,5 | 40-J-300 | 2,2, 0,55 | 4.8, 1,2 |
| Д582/2 | То же | 0,5, 1,0 | 754-600 | 0,6, 0,15 | 1,2, 0,3 |
| Д582/3 |  | 1, 2 | 1504-1 200 | 0,18, 0,045 | 0,34, 0,085 |
| Д582/4 | **0 0** | 2,5, 5 | 4004-3 000 | 0,047, 0,014 | 0,05. 0,013 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Номинальное напряжение, *в* | Номинальный ток, *а* | Пределы измерения, *вт* | Данные токовой цепи | |
| Активное сопротивление, *ом* | Индуктивность, *мгн* |

**Серия Д571, класс 0,5, двухэлементные, длина шкалы 110 *мм***

Номинальный ток цепи напряжения 5 *ма* Номинальная область частот 45 — 60 *гц*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Д571/1 | 100 | 1 | 200 |  |
| Д571/2 | 250 | 1 | 500 |  |
| Д571/3 | 375 | 1 | 650 |  |
| Д571/4 | 100 | 5 | 1 000 |  |
| Д571/5 | 250 | 5 | 2 000 |  |
| Д571/6 | 375 | 5 | 3 000 |  |
| Д571/7 | 150 | 5 | 1 300 |  |

**Серия Д521, класс 0,5** (cosyH = 0,8)  
Номинальный ток цепи напряжения 30 ма

Д521 | 150 | 5 | 1 200 | 0,1 | 0,1

**Серия Д575, класс 0,2, двухэлементный, длина шкалы 600 мм**

Номинальный ток цепи напряжения 15 *ма* (для Д575/1 и Д575/2—12,5 *ма)* Номинальная область частот 45 — 60 *гц* Расширенная область частот 80 — 200 *гц*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Д575/1 | (100) 125, 250, 375 | 5 | 1 2004-3 600\* | 0,028 | 0,042 |
| Д575/2 | (100) 125, 250, 375 | **1** | 2404-720\* | 0,550 | 1,0 |
| Д575/3 | (90) 100, 150, 300 | 5 | 9004-3 000 | 0,025 | 0,035 |
| Д575/4 | (90) 100, 150, 300 | 1 | 200:600 | 0,270 | 0,650 |
| Д575/5 | 75, 150, 300 | 5 | 7504-3 000 | 0,025 | 0,035 |
| Д575/6 | 75, 150, 300 | 1 | 1504-600 | 0,270 | 0,650 |

\* Конечное значение рабочей части шкалы.

**Трехфазные ваттварметры**

**Тип**

Номинальное напряжение, в

Номинальный  
ток, *а*

Пределы измере-  
ния, *вт-вар*

Сопротивление токовой цепи

активное, *ом* индуктивное, *мгн*

**Серия Д581, класс 0,5, двухэлементный, длина шкалы 150 мм**

| 100. 125. 250, 375 | 0,25, 0,5 | 40-5-300 | 2,8, 0,7 |
| --- | --- | --- | --- |
| 100, 125, 250, 375 | 0.5, I | 75-5-600 | 0.64, 0,16 |
| 100, 125, 250, 375 | 1. 2 | 150-J-1 200 | 0.2, 0,05 |
| 100. 125, 250, 375 | 2.5. 5 | 400-5-3 000 | 0,055, 0,018 |

Д581/1

Д581/2

Д581/3

Д581/4

Номинальный ток цепи напряжения ваттметра 5 *на* Номинальный ток цепи напряжения варметра "4,8,6 *на* Номинальная область частот 45—60 *гц*

4.8, 1,2

1.2. 0,3  
0,32. 0,08  
0,048, 0,012

При измерении реактивной мощности при несимметрии системы напряжений возникает схемная погреш­ность1, наибольшее значение которой приведено ниже:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Несимметрия системы напря­жения, % | Неравномерность нагрузки фаз, % | Изменение показа­ний, %, конечного значения рабочей части шкалы | Несимметрия системы напря­жения, % | Неравномерность нагрузки фаз, % | Изменение показа­ний, %, конечного значения рабочей части шкалы |
| 1 | 10 | +0,2 | 5 | 10 | + 1,0 |
| 1 | 20 | +0,4 | 5 | 20 | +2.0 |
| 1 | 40 | +0,8 | 5 | 40 | +4,0 |
| 1 | 60 | + 1.2 | 5 | 60 | +6,0 |
| 1 | 80 | + 1.6 | 5 | 80 | +8.0 |
| 1 | 100 | ±2.0 | 5 | 100 | ±Ю,0 |

**\* См. § 8.**

**Таблица 1-4**

**Переносный измерительный комплект типа К50**

Длина шкалы ваттметра ПО *мм*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номинальный ток, *а* | Верхний предел измерения, *кет* (для одной фазы) | | | | Данные токо­вой цепи | | Номинальный ток цепи напряжения,  *ма* | Примечание |
| 150 *в* | 300 а | 450 *в* | 600 в | **О О о я**  **•и si**  **Я Ь**  **Jj Яз \*С Е О** | Индуктив­ность, *мгн* |
| 1  2,5 5  10  25  50  100 250 500 600 | 0,15 0,375 0,75 1,5  3,75  7,5  15  37,5  75 90 | 0,3  0,75  1.5  3,0  7.5  15,0  30  75  150  180 | 0.45   1. 125 2,25   4,5   1. 25 22,5   45  112,5  225 270 | 0.6  1.5  3,0  6,0  15,0 30,0  60  150 300 360 | 1  0,2 0,06 0,02 0,01 0,006 | 0,35  0,07  0.02  0.006  0,002  0,001 | 10.5  1 | Непосредст­венное вклю­чение  Включение через транс­форматоры тока И508 |

**Таблица 1-5**

**Переносный измерительный комплект типа К51**

Номинальная область частот 45—60 гц, cosya = l,0 Длина шкалы ваттметра НО мм

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номинальный ток, *а* | Предел измерения, *кет* (квар) | | | | Данные токовой цепи, *а* | | Номинальный ток цепи напря­жения. *ма* | Примечание |
| ЮЗ—125 а | 250 а | 375 а | 500 *в* | Актив­ное со­против­ление» *ом* | Индук­тив­ность, *мгн* |
| 1  2.5  5  10  25  53 | 0,2  0,5  1  2  5  10 | 0,4  1  2  4  10  20 | 0,6  1,5  3  6  15  30 | 0,8  2  4  8  20  40 | 1.05 0,2 0,06 0,02 0,007 о,о:б | 1,0  0,13 0,01 0,013 0,003  0,001 | Ваттметр 5 *ма* Вольтметр 7,5 *ма* (для схемы активной мощности) | Непосред­ственное включение |
| 100  250  500  600 | 20  59  100  120 | 49  100  209  240 | 60 150 ЗОЭ 360 | 83  300  409  480 |  |  |  | Включение через трансфор­маторы тока И520 |

Примечание При однофазном включении комплекта пределы изме­рения; при последовательном соединении токовых цепей ваттметра от 0 1 до 20 *кет и* при параллельном — от 0,2 до 40 *кет.*

ПРИЛОЖЕНИЕ И

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО  
ДВИГАТЕЛЯ ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ**

Мощность на валу асинхронного двигателя ори неполной на­грузке (Р) может быть приближенно определена без измерения то­ка или мощности по величине скольжения двигателя.

'Как известно, скольжение (?) определяется по выражению

**Пс—П  
пс**

где пс—синхронная скорость вращения ротора (об/мин);

п — скорость вращения (об/мин) при нагрузке (Р).

'При номинальном напряжении Un и номинальной нагрузке дви­гателя Р„ скольжение имеет определенное номинальное значение s„. При уменьшении нагрузки скорость вращения ротора увеличи­вается и скольжение уменьшается в прямой зависимости, т. е.



■Из табличных данных двигателя известны номинальные мощ­ность РИ и скорость вращения пп, по которым вычисляется номи­нальное скольжение s„ и, следовательно, для определения мощно­сти на валу для данной нагрузки двигателя необходимо измерить только величину скольжения.

Если в момент измерения скольжения .напряжение на зажимах статора двигателя U отличается от номинального, то мощность на валу будет определяться выражением



Скольжение может быть определено путем измерения перенос­ным тахометром числа оборотов ротора для данной нагрузки, или же, что значительно точнее, непосредственным измерением, напри­мер, стробоскопическим методом.

Для определения скольжения стробоскопическим методом на торце вала двигателя мелом наносятся .метки — лучи по радиусу вала, число которых и расположение зависит от синхронного числа оборотов двигателя и дано в нижеследующей таблице.

Если освещать торец вала двигателя неоновой лампой, питаю­щейся от той же сети переменного тока (/=50 пер/сек) так, чтобы свет падал на него только от одного электрода лампы, то вслед­ствие стробоскопического эффекта мы будем наблюдать медленное вращение меток-лучей в направлении, обратном направлению вра­щения ротора двигателя.

Сосчитав число лучей-меток N„, проходящих через верхнюю

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Число пар полюсов обмотки статора | Синхронное число оборо­тов, *об] мин* | Число меток- лучей | Расположение меток-лучей |
| 1 | 3 000 | 1 | По радиусу вала |
| 2 | 1 500 | 2 | По диаметру вала |
| 3 | 1000 | 3 | В виде трехлучевой симметричной звезды (углы 120°) |
| 4 | 750 | 4 | Два взаимно перпендикулярных диа­метра (углы 90°) |
| 5 | 600 | 5 | В виде пятилучевой симметричной звезды (углы 72°) |
| 6 | 500 | 6 | В виде шестилучевой симметричной звезды (углы 60°) |

точку вала за одну минуту (7"=60 сек), можно определить сколь­жение то следующему .выражению

N. \_ N.  
s— fT 3 000 ■

Пример. Необходимо определить мощность асинхронного двига­теля (Рн=Ю0 кет, UH—380 в, пн—1 470 об/мин), пользуясь стробо­скопическим методом. Для этого на торце вала останов пенного дви­гателя проводим мелом две метки-луча по диаметру (см. табли­цу). Подсчитываем номинальное скольжение

**8н**

1 500 — 1 470

1 500

0,020.

При нагруженном двигателе, Ov вещая торец вала одним элек­тродом неоновой лампы, считаем число лучей, проходящих через верхнюю точку вала за 1 мин, Ns=45. При этом линейное напряже­ние на зажимах статора двигателя, измеренное вольтметром, оказа­лось £7=370 в. Тогда скольжение, соответствующее данной нагруз­ке, равно:

45  
s= 3 000 “°'°15

и искомая нагрузка двигателя

Р~ 100 0 02

0,015 /370\2

= 71 кет.

«V

ЛИТЕРАТУРА

Ч. Бурьянов Б. П., Магнитоэлектрический осциллограф, Госэнергоиздат, 1952.

1. Вострокнутов Н. Г., Электрические счетчики, Госэнер- гоизцат, 1959.
2. Г о р ю н о в П. Н., П и г и н С. М., ШумиЛовский Н. Н., Электрические счетчики, Госэнергоиадат, 1951.
3. ГОСТ на электроизмерительные приборы и счетчики.
4. М а н с у р о в Н. П., П о п о в В. С., Теоретическая электро­техника, Госэнергоиздат, Физматиздат, 1958,
5. М инин Г. П., Эксплуатация электроизмерительных прибо­ров, Госэиергоиздат, 1959.
6. С ы р о м я г н и к о в И. А., Режимы работы асинхронных двигателей, Госэнергопздат, 1950.
7. III к у р и и Г. П., Справочник по электроизмерительным и радиоизмерительным приборам, Военное издательство, I960

СОДЕРЖАНИЕ

Введение .... 3

1. [Общие сведения ... 4](#bookmark18)
2. [Измерение активной мощности трехфазных генераторов . 26](#bookmark38)
3. [Измерение активной мощности асинхронных двигателей . 42](#bookmark50)
4. Измерение активной мощности в трехфазиых четырехпро­

[водных сетях 59](#bookmark53)

1. Измерение активной мощности при опытах короткого за­

[мыкания ...... v 61](#bookmark57)

1. Измерение активной мощности при опытах холостого хода 67
2. Измерение реактивной мощности . . 67
3. [Особые случаи измерения мощности 77](#bookmark68)
4. [Измерение мощности при поверках ваттметров ... 87](#bookmark72)
5. [Определение мощности, потребляемой приборами . 93](#bookmark76)
6. [Определение мощности, потребляемой обмотками реле . 99](#bookmark80)
7. [Определение мощности бытовых электроприборов . . 100](#bookmark84)
8. [Осциллографирование мощности .... . . 101](#bookmark88)

[*Приложения* . . 108](#bookmark96)

Литература . : . . . 118

библиотека электромонтера

**ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ**

Юриков П. А., Защита изоляции от атмосферных перенапряже­ний (Трубчатые разрядники). Вып 157.

Каминский Е. А., Как сделать проект небольшой электроуста­новки. Вып 158.

Д а д и о м о в М. С., Управление осветительными сетями. Вып. 159.

Лейбзон Я. И. и Чилич М. Б., Регулируемые электроприводы переменного тока с индукторными муфтами скольжения. Вып. 160.

Ермилов А. А., Электроснабжение промышленных предприятий.

Вып. 161

Зак С. М., Монтаж светильников с газоразрядными лампами Вып. 162.

Овчинников В. В., Электромагнитные реле тока и напряжении. Вып. 163.

Голубев М. Л., Релейная защита и автоматика подстанций с ко- роткозамыкателями и отделителями. Вып. 164.

Живов М. С.„ Индустриальный монтаж осветительных электро­установок. Вып. 165.

Карпов Ф. Ф., Как выбрать сечение проводов и кабелей, изд. 2. Вып. 167.

Д и д у х К). И. и Кутьин А. И., Автоматическое управление на­ружным освещением. Вып. 168.

готовятся К **ИЗДАНИЮ**

Е п и ш и н В. Ф., Резка проводов и тросов.

Иевлев В. И. и Карягин А. Г., Монтаж распределительных устройств на тепловых электростанциях.

Рабинович Г. А. и Ситковский А. Я., Автоматизация ленточных конвейеров.

С и jjn и к Л. 3., Измерения при наладке воздушных выключателей.

Чернев К. К., Безопасные способы работы в электроустановках.

Шуров В. М., Монтаж, наладка и обслуживание регуляторов.

**Издательство заказов на книги не принимает и книг ие вы­сылает.**

**Книги, выходящие массовым тиражом, высылают наложенным платежом без задатка отделения «Книга — почтой».**

**ОПЕЧАТКИ**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Стр. | Строка | Напечатано | Должно быть |
| 20 | Вместо | схемы и диаграммы рис. 8 должны быть схема и диаграмма рис. 11 | |
| 22 | Вместо схемы и диаграммы рис. 11 должны быть схема и диаграмма рис. 8 | | |
| 60 | 9 снизу | (рис. 22) | (рис. 24) |
| 76 | 16 сверху | (рис. 22) | (рис. 24) |
| 76 | 18 сверху | (рис. 28) | (рис. 30) |
| 99 | 18 снизу | (§ 9) | (§ Ю) |

Цена 22 коп.

1. \* При тригонометрических преобразованиях использованы сле­дующие соотношения [↑](#footnote-ref-2)
2. — cos *2а* sin 2а

   sin2a = g ; sinacosa =—%—>  
   cos *(а + b)* = cos *a* cos *Ь —* sin a sin *b.* [↑](#footnote-ref-3)
3. Одна угловая минута равна 0,000291 *рад.* [↑](#footnote-ref-4)
4. Для трансформаторов тока входные (генераторные) зажг мы обозначаются для первичной цепи буквой Ль а для вторичной—Яь выходные зажимы обозначаются соответственно Л2 и Я2.

   Для трансформаторов напряжепиг входные зажимы обознача­ются для первичной обмотки буквой *А* и для вторичной — *а;* вы­ходные зажимы соответственно *X* и *х.*

   Отметим, что результаты измерения будут правильны, если в качестве генераторных зажимов будут использованы выходные зажимы *Л2, И2.* Важно лишь, чтобы генераторные зажимы первич­ной и вторичной обмоток были рднополярны. [↑](#footnote-ref-5)
5. 1 При соединении в звезду ток в нулевом прозоде отсутствует. Поэтому учитывается сопротивление проводов только в один конец.

   \* Чисто 25 в знаменателе — это квадрат номинального тока 5 *а.* Если произвести действия над размерностями, то, деля [вс] (которыми измеряется *Р)* на [с2], получим [в : а], т. е. [ojh]. [↑](#footnote-ref-6)
6. Приведенным током ротора асинхронного двигателя назы­вается ток ротора, уменьшенный во столько раз, во сколько напря­жение статора больше произведения тока ротора на его полное со­противление. [↑](#footnote-ref-7)
7. **ИЗМЕРЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ**

   Измерение реактивной мощности в трехфазных уста­новках производится обычными косинусными ваттмет­рами (градуированными при cos<p=l), включенными по специальным схемам (см. § 1). [↑](#footnote-ref-8)
8. tg ? = 7g — 1 >88\*

   По тригонометрическим таблицам находим:  
   cosy=0,6, siny = 0,8. [↑](#footnote-ref-9)
9. При частоте 50 *гц* максимально возможная синхронная ско­рость двигателей равна 3 000 *об!мин* (двухполюсные двигатели). [↑](#footnote-ref-10)
10. При определении коэффициента мощности в цепях с несину­соидальным током принимается действующее значение несинусои­дального тока за действующее значение эквивалентного синусои­дального тока.

    6\* 83 [↑](#footnote-ref-11)
11. Раньше вибраторы назывались шлейфами. [↑](#footnote-ref-12)