

Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Э.С. Мусаэлян

ПРОВЕРКИ
и ИСПЫТАНИЯ
ПРИ МОНТАЖЕ
ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

621.311
M 91

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 66

1962

Э. С. МУСАЭЛЯН

11700/1

ПРОВЕРКИ И ИСПЫТАНИЯ ПРИ МОНТАЖЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

ОБМОТКИ СТАТОРА И РОТОРА,
ВОЗБУДИТЕЛЬ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА

1962

ЛЕНИНГРАД

ЭЭ-3-3

В книге содержатся сведения о проверках и испытаниях обмоток статора и ротора турбинных генераторов и их возбuditелей при монтаже до пусковых испытаний. Описания практических приемов сопровождаются пояснениями тех физических явлений и процессов, на которых основаны испытания.

Книга предназначена для электротехников и квалифицированных электромонтеров, работающих по монтажу, наладке и эксплуатации генераторов. Она может также служить пособием для учащихся технических училищ трудовых резервов по соответствующим специальностям.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток	3
2. Сушка изоляции обмоток	9
3. Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением	26
4. Измерение сопротивления обмоток постоянному току	31
5. Проверка последовательности чередования фаз	36
6. Измерение и определение активных и индуктивных сопротивлений обмоток	41
7. Проверка и испытания изоляции стяжных болтов, стула подшипника и термодетекторов	49
8. Понятие о конструкции и принципе работы возбuditеля	55
9. Проверка полярностей обмоток возбuditеля и чередования основных и дополнительных полюсов	62
10. Оформление документации по окончании работ по проверке и испытаниям электрооборудования	70

БП2.12 Мусаев Эрик Суменович
М 92 Проверки и испытания при монтаже турбогенераторов.
М.—Л., Госэнергоиздат, 1962 г.
80 с. с черт. (Б-ка электромонтера. Вып. 66).

БП2.12

* * *

Редактор П. Г. Грудчнский

Техн. редактор Г. Е. Ларионов

Сдано в пр-во 24/XI 1961 г.

Подписано к печати 16/1 1962 г.

Формат бумаги 84×108^{1/32}

4,1 п. л.

4,3 уч.-изд. л.

Т-00319

Тираж 18 000 экз.

Цена 15 коп.

Зак. 670

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

1. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК

Измерение сопротивления изоляции обмоток имеет целью определить их состояние главным образом в отношении увлажнения и отсутствия грубых, явно выраженных повреждений. Первая проверка производится немедленно после установки статора генератора на фундамент и после распаковки ротора с тем, чтобы иметь возможность своевременно устранить неисправности, если они будут обнаружены.

Измерение производится мегомметром, принципиальная схема которого дана на рис. 1. Мегомметр измеряет сопротивление на постоянном токе. В качестве источника постоянного тока обычно служит встроенный в прибор генератор с постоянными магнитами, вращаемый от руки или электродвигателем. Применение прибора с электродвигателем повышает качество измерений и облегчает их проведение.

Измерительным прибором в мегомметре обычно является логометр, т. е. прибор (миллиамперметр), в котором вместо пружины применена противодействующая обмотка 2, включенная параллельно выводам генератора. Обмотка 1 включена последовательно с измеряемым сопротивлением, так что прибор по существу измеряет ток, протекающий через сопротивление. Однако шкала прибора градуируется в омах, т. е. указывает:

$$R = \frac{U}{I},$$

где U — напряжение на зажимах генератора;

I — ток в логометре.

Так как противодействие обмотки 2 зависит от напряжения, то логометр дает правильные показания, независимо от величины U . При применении обычного амперметра для получения правильных результатов изме-

рения было бы необходимо строго поддерживать постоянное напряжение, именно то, при котором проводилась градуировка прибора.

Перед началом измерений мегомметр проверяется. Для этого зажимы *З* и *Л* (рис. 1) замыкают накоротко и вращают рукоятку прибора. Показание прибора должно быть равно нулю. Затем замыкание удаляется и при нормальном вращении рукоятки показание прибора должно быть равно ∞ . Если проверка не дала указанных ре-

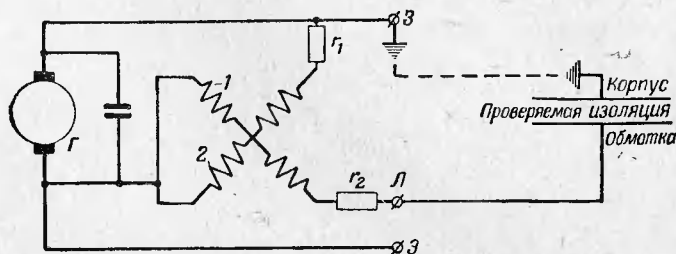


Рис. 1. Принципиальная схема мегомметра.

Г—генератор постоянного тока 1000—2 500 в; *1*—последовательная обмотка логометра; *2*—параллельная обмотка логометра; *r*₁, *r*₂—ограничивающие сопротивления; *Л*—линейный зажим; *З*—зажим для присоединения заземления (корпуса); *Э*—зажим для присоединения экрана.

зультатов, прибор не исправен и им пользоваться нельзя.

Прежде чем присоединить прибор к проверяемой обмотке, ее следует заземлить на 2—3 мин для того, чтобы возможные остаточные заряды стекли в землю и не повлияли на результаты измерений.

При измерении зажим *З* мегомметра присоединяется к корпусу машины, изоляция которой проверяется. Если мегомметр имеет кнопку для замыкания измерительной цепи, то зажим *Л* присоединяется к обмотке. Присоединение осуществляется проводом, имеющим изоляцию типа магнето, т. е. рассчитанную на высокое напряжение. Затем генератор постоянного тока прибора приводится в равномерное вращение с указанной в инструкции к прибору скоростью, нажимается кнопка и снимается показание прибора.

Если кнопка на приборе отсутствует, то провод от зажима *Л* остается неприсоединенным. После достижения генератором равномерного вращения с предписанной скоростью этот провод прикладывается к обмотке в заранее очищенном месте. С этой целью конец провода присоединяется к щупу с помощью винта. Щуп должен иметь изолирующую рукоятку, обеспечивающую безопасность лица, производящего измерение, и исключаящую влияние возможных утечек на результаты измерений.

При присоединении конца *Л* к обмотке стрелка прибора дает резкий бросок к нулю шкалы, затем начнет двигаться более или менее быстро к противоположному концу шкалы и спустя некоторое время (при сухой исправной изоляции, измеряемое иногда минутами) остановится на определенном значении сопротивления.

Первый бросок стрелки вызывается протеканием зарядного тока, соответствующего заряду емкости обмотки. Этот ток протекает кратковременно, быстро спадает и не влияет на окончательные показания прибора.

Медленное движение стрелки после затухания емкостного тока является результатом протекания тока абсорбции. Этот ток возникает вследствие слоистости изоляции, слои которой образуют как бы цепочку емкостей, включенных последовательно. Внутренние емкости этой цепочки заряжаются через сопротивление предшествующих слоев.

Если изоляция сухая, сопротивление слоев очень велико, ток мал, заряд происходит медленно. Чем суше изоляция, тем продолжительней протекание тока, тем медленней движение стрелки.

После того как процесс зарядки внутренних слоев закончился, ток абсорбции становится равным нулю, и остается только ток сквозной проводимости. Этот ток протекает или внутри изоляции, например по ее капиллярным каналам, заполненным влагой, или по наружной поверхности, если эта поверхность загрязнена и увлажнена. Чем больше этот ток, тем меньше сопротивление изоляции.

Для того чтобы исключить влияние поверхностной утечки на результаты измерений, перед измерениями производится тщательная очистка от пыли и грязи вводов генератора и колец ротора,

Сопротивление сухой и чистой изоляции значительно и при измерениях оно медленно нарастает, пока не спадет ток абсорбции. Установившееся значение сопротивления изоляции определяется величиной тока сквозной проводимости. Сопротивление увлажненной изоляции низко и устанавливается быстро. Таким образом, показателями состояния изоляции являются как сопротивление изоляции, так и скорость его нарастания при измерении. Процесс нарастания сопротивления изоляции (или, что то же, процесс спадания тока абсорбции) характеризуется коэффициентом абсорбции:

$$k_{аб} = \frac{R_{60}}{R_{15}}, \quad (1)$$

где R_{15} — сопротивление изоляции через 15 сек;

R_{60} — сопротивление изоляции через 60 сек после начала измерений.

Определение коэффициента абсорбции производится одновременно с измерением сопротивления изоляции. Для сухой изоляции $k_{аб} > 1$ и достигает значений 1,5—2,0. Для влажной изоляции $k_{аб}$ близок к 1.

Измерения сопротивлений изоляции производятся при температуре обмотки, соответствующей нормальному рабочему режиму, т. е. не ниже 70—80° С. Сопротивление изоляции и коэффициент абсорбции с повышением температуры снижаются примерно в 2 раза на каждые 18° повышения температуры. Пользуясь этим правилом, можно привести сопротивление изоляции, измеренное при одной температуре, к какой-либо другой. Однако производить измерения сопротивления при температурах ниже +10° не следует. При меньших температурах необходимо перед измерением подогреть обмотку.

Оценка состояния изоляции может производиться как путем сопоставления результатов измерений с нормативными показателями, так и путем сравнений с предшествующими измерениями.

Согласно стандарту на электрические машины сопротивление обмоток статора при температуре обмотки +75° С должно быть не ниже:

$$R_{изол} = \frac{U_{ном}}{1000 + \frac{P}{100}} [Мом], \quad (2)$$

где $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение обмотки, в;

P — номинальная мощность машины, к*ва*.

Формула (2) относится к машинам любой мощности и назначения. Сопротивление изоляции мощных генераторов обычно значительно выше, чем определяемое согласно (2). В связи с этим на практике часто пользуются эмпирическим правилом и требуют, чтобы сопротивление изоляции составляло не менее 1 *Мом* на 1 к*в* номинального напряжения генератора.

Сопротивление изоляции, измеренное при монтаже генератора, сопоставляется также с результатами измерений, произведенных на заводе. При этом целесообразно сопротивление, измеренное при монтаже, привести к температуре 75°, при которой производятся измерения на заводе, или, что еще лучше, производить измерения при температуре обмотки 75° С.

Для коэффициента абсорбции в качестве значения, характеризующего удовлетворительное состояние изоляции в отношении увлажнения, принято $k_{\text{аб}} = 1,3$.

Измерение сопротивления изоляции обмотки статора производится мегомметром на напряжение 1 000—2 500 в. Измеряется сопротивление каждой из фаз обмотки по отношению к корпусу и к двум другим фазам, соединенным при этом измерении с корпусом. Оценка результатов измерений производится путем сопоставления полученных сопротивлений между собой и с заводскими испытаниями.

Состояние изоляции может считаться удовлетворительным, если сопротивление изоляции трех фаз имеют примерно одинаковые значения и незначительно отличаются от значений, указанных в протоколе заводских испытаний, при условии, что измерения при монтаже произведены при той же температуре, что и заводские измерения, или приведены к ней, как указано выше.

В случае отсутствия данных о заводских измерениях состояние изоляции обмотки статора считается удовлетворительным, если $k_{\text{аб}} \geq 1,3$ при температуре 15—30°, а сопротивление изоляции превышает 1 *Мом* на 1 к*в* номинального напряжения при температуре 75° С.

Измерение сопротивления изоляции обмотки ротора производится мегомметром на напряжение 1 000 в, а при сильно увлажненной изоляции — не выше 500 в. Сопротивление изоляции измеряется по от-

ношению к валу (к телу ротора). Состояние изоляций обмотки ротора считается удовлетворительным, если ее сопротивление не ниже $0,5 \text{ Мом}$.

Измерение сопротивления обмоток возбuditеля при монтаже производится между: а) обмоткой якоря и корпусом; б) обмоткой возбуждения и корпусом; в) обмоткой якоря и бандажами; г) бандажами и корпусом; д) обмотками возбуждения.

Измерение сопротивления производится мегомметром 1 000 — 2 500 в. Перед измерением все элементы возбuditеля очищаются и продуваются сжатым воздухом. При этом производится осмотр возбuditеля и выясняется состояние обмоток, якоря, полюсов, корпуса, между-полюсных соединений, выводов и присоединений к₂ ним, коллектора, щеткодержателей, щеток. Если в результате осмотра выявится необходимость обработки коллектора (обточка, шлифовка, продороживание и т. д.), то это производится до проверки изоляции обмоток.

При неудовлетворительных результатах проверки изоляции обмоток статора, ротора и возбuditеля следует произвести измерения повторно, тщательно проверяя их правильность; убедиться, что вводы обмоток, кольца ротора и пр. надежно очищены от пыли и грязи и находятся в сухом состоянии. Если неудовлетворительные результаты повторяются и после такой проверки, но показатели состояния изоляции окажутся относительно немного ниже установленных нормальных значений, можно предполагать поверхностное увлажнение изоляции. Например, при затянувшемся монтаже бывают случаи, что изоляция не удовлетворяет нормам перед пуском, хотя при первой проверке показатели ее состояния были удовлетворительными. Поверхностное увлажнение изоляции статора легко удаляется путем нагрева за счет вентиляционных потерь во время опробования турбины и проверки ее регулирования и автомата безопасности.

При значительном увлажнении изоляции требуется ее сушка. Сушка является сложной операцией, требующей затраты труда и времени. Поэтому для установки необходимости сушки изоляции статора дополнительно производится испытание изоляции повышенным напряжением постоянного тока, снимая характеристику $I_{\gamma} = f(U)$ (см. § 3). Кроме того, анализируются условия транспорта и хранения статора. Решение о пуске генератора без

сушки в этих случаях принимается главным инженером станции или энергосистемы по согласованию с представителями завода и монтирующей организации.

2. СУШКА ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК

В прежнее время сушку изоляции обмоток производили на вращающемся генераторе. Обмотка нагревалась либо током короткого замыкания, либо вентиляционными потерями. Оба метода задерживали пуск генератора, требовали значительного расхода пара на вращение генератора и сопровождалась перегревом концевой части турбины, нагреваемой при вращении без нагрузки. В настоящее время нашли применение методы сушки, при которых не требуется вращение генератора и которые можно производить до полного окончания монтажа. Эти методы не только более экономичны, но и более безопасны для обмоток.

Нагрев обмоток при сушке в неподвижном состоянии может осуществляться двумя способами: индукционными потерями в стали статора и потерями в меди обмоток статора и ротора. Нагрев машин небольшой мощности может производиться также внешними источниками тепла — электрическими печами, лампами накаливания и другими нагревателями.

Нагрев обмоток статора потерями в стали производится путем создания в статоре переменного магнитного потока. Для этой цели на статор наматывается временная вспомогательная обмотка или в качестве такой обмотки используется тело ротора, которое при подводе к его концам напряжения образует совместно с подводными проводами один виток вокруг активной стали статора.

Вспомогательная обмотка для создания переменного магнитного потока выполняется изолированным проводом, наматываемым на спинку статора через расточку, как показано на рис. 2. Применение для этой цели бронированного или оцинкованного провода недопустимо, так как в броне или в свинцовой оболочке будут вводиться токи, действующие размагничивающим образом.

При намотке вспомогательной обмотки между ней и сталью статора в расточке и на углах прокладывается

электрокартон или другая подобная изоляция. Расчет намагничивающей обмотки, т. е. определение необходимого числа витков и сечения провода, производится из

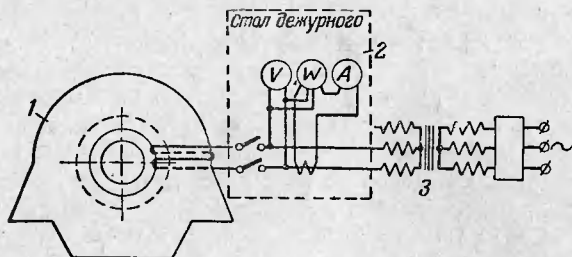


Рис. 2. Схема сушки генератора методом потерь в стали статора.

1—статор генератора; 2—измерительные приборы; 3—трансформатор с обмоткой низкого напряжения 220 и 380 в.

условия, чтобы создать в статоре индукцию, примерно равную той, какая имеет место в рабочем режиме при эксплуатации. Расчет ведется по формуле:

$$\omega = \frac{U \cdot 10^8}{4,44fQB}, \quad (3)$$

где ω — число витков намагничивающей обмотки;

U — действующее значение напряжения питания намагничивающей обмотки, в;

B — необходимая для нагрева индукция в спинке статора, гс;

Q — поперечное сечение спинки статора, см²;

f — частота подводимого к намагничивающей обмотке напряжения.

Для частоты $f = 50$ гц выражение для ω принимает вид:

$$\omega = \frac{45U}{Q \frac{B}{10\,000}}.$$

Напряжение питания намагничивающей обмотки при расчете выбирается из имеющегося в наличии на станции. Индукция выбирается в пределах 4 000—6 000 гс и 7 000—9 000 гс и для двух значений индукции опре-

деляется необходимое число витков \bar{W}_1 и \bar{W}_2 . Количество витков, соответствующее бóльшей индукции, используется в начале нагрева для ускорения достижения необходимой температуры. Количество витков, соответствующее мёньшей индукции, используется для поддержания достигнутой температуры. При наматывании намагничивающей обмотки от нее делается ответвление, соответствующее мёньшему количеству витков.

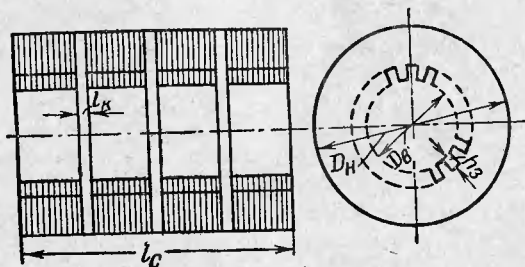


Рис. 3. Схема сердечника статора.

l_c — длина активной стали; l_k — ширина канала; D_n — наружный диаметр; D_b — внутренний диаметр; h_z — высота зубца.

Поперечное сечение спинки статора определяется из выражения (рис. 3)

$$Q = l_c h_c, \text{ см}^2, \quad (4)$$

где $l_c = k(l - n_k l_k)$ — осевая длина активной стали статора, см;

k — коэффициент заполнения, для лакированной стали $k = 0,93$; для стали, оклеенной бумагой, $k = 0,9$;

l — полная осевая длина активной стали статора с изоляцией и вентиляционными каналами, см;

l_k — ширина вентиляционного канала, см;

n_k — число вентиляционных каналов;

$h_c = \frac{D_n - D_b}{2} - h_z$ — высота спинки стали статора, см;

D_n — внешний диаметр активной стали, см;

D_b — внутренний диаметр активной стали статора, см;
 h_z — высота зуба или глубина паза, см.

Ток в намагничивающей обмотке при выбранных параметрах подсчитывается из выражения

$$I = \frac{AW}{\omega}, \text{ а,} \quad (5)$$

где $AW = \pi D_o a \omega_o$ — полная намагничивающая сила (н. с.);
 $D_o = D_n - h_c$ — диаметр активной стали, соответствующий середине спинки статора, см;

$a \omega_o = \frac{a \omega_{\text{макс}}}{\sqrt{2}}$ — удельная н. с., соответствующая действующему значению индукции B .

Значение удельной н. с. в зависимости от индукции для современных отечественных сталей дано в табл. 1.

Таблица 1

$B, \text{ зс}$	5 000	6 000	7 000	8 000	10 000
$a \omega_o, \text{ ав/см}$	0,66—0,85	1,00—1,20	1,30—1,45	1,7—2,0	2,15—2,8

По току в намагничивающей обмотке выбирается по справочникам сечение провода, при этом следует учитывать тяжелые термические условия работы провода путем снижения допустимого тока нагрузки на 30—50%.

Полная мощность источника питания, необходимая для сушки, определяется из выражения

$$S = \frac{UI}{1000}, \text{ ква.} \quad (6)$$

Для облегчения расчетов по определению размеров намагничивающей обмотки и необходимой мощности вспомогательного трансформатора при сушке изоляции некоторых типов генераторов отечественного производства могут быть использованы данные табл. 2.

При нагреве и сушке обмотки статора со вставленным ротором и использовании последнего в качестве обмотки на концы вала подается напряжение через спе-

циальные бандажи. Наложение бандажей на шейки вала недопустимо, так как возможно их повреждение.

Напряжение, необходимое для создания в стали статора индукции достаточной для нагрева, определяется в этом случае из выражения

$$U = \frac{Q}{45} \cdot \frac{B}{10\,000}, \text{ в.} \quad (7)$$

Здесь обозначения те же, что и в выражении (3).

Намагничивающий ток и мощность источника питания определяются при использовании вала в качестве обмотки по выражениям (5) и (6). Питание намагничивающей обмотки следует осуществлять от отдельного трансформатора, а не от общей сети, так как один из концов вала соединен через подшипник с корпусом машины, т. е. заземлен. Второй конец вала должен быть изолирован от корпуса, для чего используется изоляция стула подшипника. При отсутствии или нарушении этой изоляции обмотка источника питания будет замкнута накоротко через корпус машины. Контроль изоляции ведется в течение всего периода нагрева и сушки, для чего между концом вала и корпусом включается вольтметр.

В табл. 2 приведены основные данные для сушки турбогенераторов отечественного изготовления, облегчающие расчеты. В конце раздела даны примеры расчета вспомогательной обмотки, источника питания и подводных проводов.

Нагрев обмоток статора потерями в меди при неподвижном генераторе может производиться постоянным или переменным током. Выбор рода тока зависит от наличия и параметров возможных источников питания. В зависимости от напряжения источника питания выбирается схема соединений обмоток и ток нагрева. Ток в обмотках статора при нагреве лежит в пределах (0,4—0,7) I_n . При токе, меньшем 0,4 I_n продолжительность нагрева очень возрастает, что нежелательно. Ток больше 0,7 I_n недопустим, так как могут возникнуть местные перегревы, угрожающие повреждению изоляции.

Нагрев обмоток статора и ротора постоянным током производится при питании обмоток от двигатель-генератора, подключаемого к обмот-

Основные данные для сушки генераторов потерями в стали

№ п/п.	Тип генератора	Мощность, кВт	B = 10 000 гс				B = 7 000 гс				B = 5 000 гс				Удельная н. с. σ_{σ}	Q, см ²	D ₀ , см	G, т
			$\frac{U}{\omega}$, в/виток	Полная н. с., ав	S, кВа	Активная мощность P _a , кВт	$\frac{U}{\omega}$, в/виток	Полная н. с., ав	S, кВа	Активная мощность P _a , кВт	$\frac{U}{\omega}$, в/виток	Полная н. с., ав	S, кВа	Активная мощность P _a , кВт				
1	T-290/70	3 000	39	742	29	10,5	27	415	11,2	5,1	19	228	4,3	2,6	2,15	1 740	110	4,75
2	T-12-2	12 000	90	1 240	112	32,2	63	590	37,2	15,8	45	380	17,1	8,0	2,7	4 050	146	14,6
3	T-25-2	25 000	147	1 460	214	62	103	700	72	30,4	73	450	33	15,5	2,7	6 610	172	28,2
4	T2-0,5-2	500	13	546	7	2,6	9	304	2,7	1,3	6,5	167	1,1	0,65	2,15	575	81	1,16
5	T2-1-2	1 000	19	560	11,0	4,0	13,5	313	4,2	2,0	9,5	173	1,65	1,0	2,15	870	83	1,8
6	T2A-1,5-2	1 500	25	567	14	5,1	17,5	316	5,5	2,5	12,5	174	2,2	1,3	2,15	1 130	84	2,32
7	T2-3-2	3 000	37	700	26	9,5	26	388	10,1	4,7	18,5	212	3,9	2,4	2,15	1 680	103	4,3
8	T2-3,5-2	3 500	44	715	31,5	11,4	31	400	12,4	5,6	22	200	4,8	2,8	2,15	1 970	106	5,17
9	T2-6-2	6 000	58	1 050	60	17,2	40	500	20	8,4	29	320	9,3	4,3	2,7	2 600	123	7,8
10	T2-12-2	12 000	88	1 150	101	29	62	548	34	14	44	352	15,5	7,2	2,7	3 970	135	13,1
11	—	25 000	138	1 270	175	50	96	607	58	25	69	390	27	12,5	2,7	6 200	150	22,7
12	—	50 000	206	1 560	320	93	145	745	108	46	103	480	49,5	23	2,7	9 300	184	42
13	—	100 000	410	1 650	675	196	288	787	226	96	205	508	104	49	2,7	18 500	194	89,2

кам без предохранителей. Обмотки фаз могут быть включены последовательно или параллельно так, чтобы все они обтекались одинаковым током. Ток в обмотках регулируется реостатом возбуждения двигатель-генератора. Отключение обмоток для измерения сопротивления изоляции производится только после снижения тока до нуля и останова двигатель-генератора, во избежание повреждения изоляции перенапряжениями, возникающими при отключении обмоток с большой индуктивностью от возбужденной машины.

При последовательном соединении обмоток фаз статора от двигатель-генератора требуется напряжение

$$U = (0,4 - 0,7) I_n \cdot 3R_\phi, \text{ в}, \quad (8)$$

где R_ϕ — сопротивление постоянному току одной фазы обмотки статора при температуре $+75^\circ \text{C}$, *ом*. Последовательное соединение предпочтительнее, так при нем надежнее обеспечивается равенство токов во всех трех фазных обмотках, что является неперменным условием; I_n — номинальный ток генератора, *а*.

При параллельном соединении фазных обмоток необходимое напряжение при том же токе в обмотках будет в 3 раза ниже, но от источника потребуются ток, в 3 раза превышающий ток в обмотках. Необходимая мощность двигатель-генератора при той и другой схеме будет равна:

$$P = 3I_{об}^2 R_\phi \cdot 10^{-3}, \text{ квт}, \quad (9)$$

где $I_{об}$ — ток в обмотке статора при нагреве, *а*.

Нагрев обмотки ротора постоянным током допускается только при условии, что сопротивление ее изоляции не ниже 2 000 *ом*. В противном случае ротор следует нагревать воздуходувками, для чего ротор должен находиться вне расточки статора.

Нагрев обмотки статора переменным током осуществляется при питании обмоток от сети собственных нужд 380 или 220 *в* или от отдельного трансформатора, имеющего вторичную обмотку такого же напряжения. В соответствии с напряжением источника питания выбирается схема соединения обмоток.

В случае если ротор вынут из расточки статора, могут быть применены схемы соединений в звезду и

в треугольник. При соединении в звезду напряжение, необходимое для нагрева, равно:

$$U = (0,4 - 0,5) I_n x_s \sqrt{3}, \text{ в,} \quad (10)$$

где x_s — индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора, *ом*. Это сопротивление обычно в паспорте генератора и в справочниках дается в процентах или в относительных единицах, оно примерно равно 25%, или 0,25 *отн. ед.* При известном сопротивлении в относительных единицах сопротивление в омах определяется по выражению

$$x_s = x_{*s} \frac{U_n}{I_n \sqrt{3}} \approx 0,25 \frac{U_n}{I_n \sqrt{3}}, \text{ ом,} \quad (11)$$

где I_n и U_n — номинальные ток и напряжения генератора.

При соединении обмотки в треугольник требуемое напряжение будет в $\sqrt{3}$ раз ниже, но при том же токе в обмотках от источника питания потребуется ток, в $\sqrt{3}$ раз больший, чем в обмотках.

Мощность, потребная от источника питания, не зависит от схемы соединения обмоток в звезду или в треугольник и в обоих случаях будет равна:

$$S = 3 I_{об}^2 x_s \cdot 10^{-3}, \text{ ква,} \quad (12)$$

где, как и выше, $I_{об} = (0,4 - 0,7) I_n$ — ток в обмотках статора, *а*.

В случае если ротор вставлен в расточку статора, то единственной допустимой схемой соединения обмоток является схема открытого треугольника. Для этого начало каждой обмотки соединяется с концом предыдущей напряжение включается между разомкнутыми началом и концом одного из углов треугольника.

При соединении в открытый треугольник обмотка статора не создает вращающегося магнитного потока, как это имеет место при соединениях обмоток в звезду или в треугольник. При наличии вращающегося потока в бочке и клиньях неподвижного ротора наводились бы очень большие токи, что повлекло бы к опасному их

перегреву. Поэтому соединение обмотки статора в звезду или в треугольник при вставленном роторе недопустимо.

Напряжение (однофазное), требующееся для нагрева по схеме соединения в открытый треугольник, равно:

$$U = (0,4 - 0,7) I_H \cdot 3x_0, \text{ в}, \quad (13)$$

где x_0 — сопротивление нулевой последовательности одной фазы обмотки, *ом*.

Обычно это сопротивление так же, как и x_s , дается в % или в относительных единицах и примерно равно (0,05 — 0,08) *отн. ед.* Пересчет в омы производится согласно (11).

Потребная мощность источника равна:

$$S = UI_{об} \cdot 10^{-3}, \text{ ква.} \quad (14)$$

11700/11
При выборе между нагревом потерями в стали и нагревом потерями в меди необходимо иметь в виду, что сушка изоляции происходит более эффективно при нагреве потерями в меди. В этом случае изоляция греется изнутри и изменение температур по слоям изоляции соответствует необходимому для удаления внутренней влаги движению ее от более нагретых к менее нагретым слоям. Кроме того, при непосредственном нагреве обмоток лучше и значительно равномерней, чем при индукционном нагреве, прогреваются лобовые части обмоток статора. Однако следует учесть, что при сильно увлажненной изоляции сушка током в обмотке может привести к вспучиванию ее изоляции, а сушка постоянным током может оказать и электролитическое действие на изоляцию. В этом случае рекомендуется производить сушку методом внешнего нагревания или методом индукционных потерь.

Порядок сушки обмоток статора и ротора

При всех методах сушки изоляции обмоток генератора необходимо соблюдать следующие условия:

1. Статор генератора (или вынутый ротор) должны быть утеплены, особенно со стороны лобовых частей, что необходимо для равномерного распределения температур по длине обмотки. Для утепления обычно применяется брезент,

2. При сушке периодически производится вентиляция для удаления выделившихся паров, для чего брезент раскрывается.

3. При сушке генераторов со вставленным ротором, имеющим запеченную изоляцию обмотки, следует периодически поворачивать ротор (например с помощью валоповоротного устройства) во избежание неравномерно-

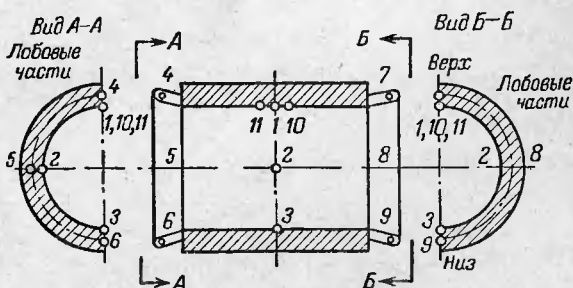


Рис. 4. Схема расположения термопар при сушке изоляции потерями в стали статора (при вынutom роторе). Цифрами показаны места установки термопар.

го смещения компаунда и по этой причине — разбалансировки ротора.

4. Во время сушки следует устанавливать постоянное дежурство персонала, который непрерывно ведет наблюдение за ходом сушки и записывает через каждый час в журнале температуры, измеренные в различных частях обмоток и стали статора или ротора. Измерение производится по заводским термодетекторам, заложенным при изготовлении машины, а также по дополнительным лабораторным термопарам или термосопротивлениям, временно устанавливаемым в лобовых частях обмоток статора. При отсутствии заводских термодетекторов рекомендуется размещать лабораторные термопары, так как это показано на рис. 4.

Представление о форме записей и о ходе сушки дает табл. 3.

Температура обмотки ротора контролируется по ее сопротивлению постоянному току, измеряемому двойным мостом Томсона (см. раздел 4, рис. 8) или методом вольтметра — амперметра (рис. 9). Кроме того, термо-

метрами контролируется температура лобовых частей ротора, для чего на каждом торце ротора устанавливается по одному термометру.

Определение температуры обмотки по измеренным сопротивлениям производится по формуле

$$t_{\text{гор}} = \frac{R_{\text{гор}} - R_{\text{хол}}}{R_{\text{хол}}} \cdot 235 + \frac{R_{\text{гор}}}{R_{\text{хол}}} t_{\text{хол}} \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (15)$$

где $R_{\text{гор}}$ — сопротивление постоянному току обмотки ротора при температуре измерения $t_{\text{гор}}$;

$R_{\text{хол}}$ — сопротивление постоянному току обмотки ротора при исходной температуре $t_{\text{хол}}$.

Температура обмоток статора и ротора при нагреве поднимается плавно и с такой скоростью, чтобы температура $+50^\circ\text{C}$ была достигнута не ранее, чем через 20—30 ч от начала сушки, а наивысшая температура — не ранее, чем через 40—50 ч.

Максимально допустимые температуры в наиболее горячем месте не должны превышать: $90\text{—}95^\circ\text{C}$, измеренные по методу сопротивления, $85\text{—}90^\circ\text{C}$, измеренные по термодетектору, $80\text{—}85^\circ\text{C}$, измеренные по ртутному термометру. Температура поддерживается периодическим включением и отключением источника питания на уровне допустимой и не ниже $70\text{—}80^\circ\text{C}$.

Одновременно с измерением температур производится измерение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции мегомметром 1 000—2 500 в каждой фазы обмотки статора и сопротивления изоляции обмотки ротора мегомметром 500—1 000 в. По результатам измерений строятся кривые зависимости сопротивления изоляции, коэффициента абсорбции и температуры от времени сушки (рис. 5) и делается суждение о ходе и окончании сушки.

Измерение сопротивления изоляции обмоток статора при нагреве и сушке индукционными потерями может производиться без снятия напряжения с намагничивающей обмотки, так как создаваемый ею магнитный поток наводит в каждой обмотке взаимно компенсируемые э. д. с. Измерения сопротивления изоляции ротора при сушке обмоток генератора индукционными потерями со вставленным ротором могут производиться также без

снятия напряжения, если кольца ротора расположены с одной стороны бочки. При расположении колец с двух сторон в обмотке ротора будет наводиться э. д. с. одного витка и поэтому для измерения сопротивления изоляции обмотки ротора требуется снимать напряжение с намагничивающей обмотки или закорачивать обмотку ротора.

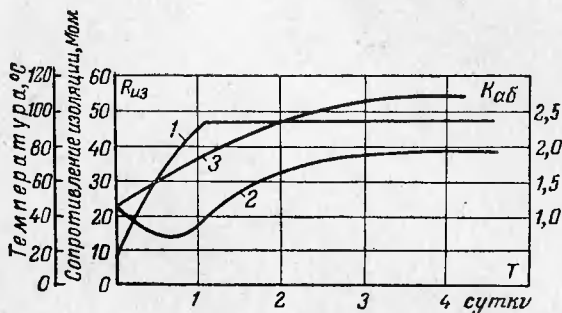


Рис. 5. График сушки генератора.

1 — температура, °C; 2 — сопротивление изоляции, Мом;
3 — коэффициент абсорбции $\frac{R_{60''}}{R_{15''}}$.

Сушка обмоток статора прекращается, когда сопротивление изоляции и коэффициент абсорбции достигают нормы и остаются неизменными в течение 3—5 ч при неизменной температуре.

Сушка обмоток возбuditеля чаще всего производится воздуходувками или обогревом с помощью групп электроламп мощностью 250—500 вт каждая. При этом требуется обращать внимание на возможные перегревы изоляции или других частей за счет близости источников обогрева и отсутствие искр от нагревателей воздуходувки.

Сушка может производиться также методом индукционных потерь путем наматывания намагничивающей обмотки на якорь и станину возбuditеля в отдельности (рис. 6). Количество витков намагничивающей обмотки может быть определено следующим расчетом.

Мощность, потребляемая для сушки

$$P = kF(100 - t_0)10^{-3}, \text{ квт}, \quad (16)$$

где F — наружная поверхность охлаждения машины, m^2 ;
 t_0 — температура окружающего воздуха, $^{\circ}C$;
 k — коэффициент, равный 5 при утепленной машине
и 12 — при неутепленной машине.

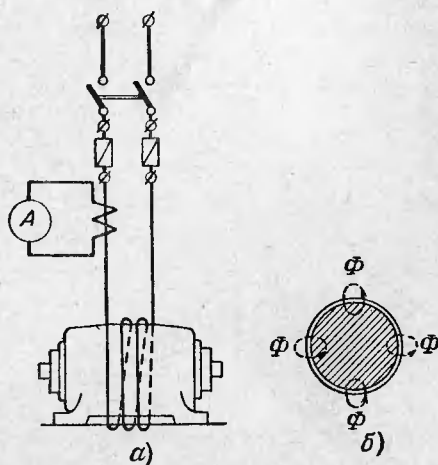


Рис. 6. Сушка возбuditеля потерями в стали.

a — схема расположения вспомогательной обмотки на корпусе возбuditеля; b — схема образования магнитных потоков.

Величина удельных потерь:

$$\Delta p = \frac{P}{F_0}, \text{ квт}/m^2, \quad (17)$$

где F_0 — поверхность машины, непосредственно охватываемая нагревательной обмоткой, m^2 .

Число витков намагничивающей обмотки

$$\omega = \frac{UA}{L}, \quad (18)$$

где ω — необходимое число витков;

U — напряжение, подведенное к обмотке, v ;

L — длина одного витка, m ;

A — коэффициент, определяемый по табл. 4.

Таблица 4

Δp	A	Δp	A	Δp	A	Δp	A	Δp	A
0,1	4,21	0,8	1,97	1,5	1,6	2,2	1,39	2,9	1,26
0,2	3,20	0,9	1,90	1,6	1,55	2,3	1,37	3,0	1,24
0,3	2,76	-1,0	1,85	1,7	1,53	2,4	1,35	3,25	1,20
0,4	2,48	1,1	1,78	1,8	1,49	2,5	1,32	3,5	1,18
0,5	2,30	1,2	1,72	1,9	1,47	2,6	1,31	3,75	1,15
0,6	2,17	1,3	1,68	2,0	1,44	2,7	1,29	4,0	1,12
0,7	2,06	1,4	1,63	2,1	1,42	2,8	1,27		

Ток в намагничивающей обмотке

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}, a, \quad (19)$$

где $\cos \varphi \approx 0,5 - 0,7$.

Сушка возбuditелей может производиться также потерями в меди обмоток при питании их постоянным током от постороннего источника. В этом случае обмотка якоря соединяется последовательно с обмотками дополнительных полюсов (обмотки возбуждения отключаются), и через них пропускается постоянный ток порядка $0,4-0,7I_{\text{ном}}$. Однако при этом требуется очень низкое напряжение источника питания, что представляет трудности, а кроме того, требуется периодическое поворачивание якоря для равномерного прогревания обмоток якоря (при одном положении якоря ток протекает только по одной ветви обмотки, охватываемой щетками).

При всех способах сушки постоянно контролируется температура обмоток в различных местах возбuditеля с помощью ртутных термометров. Максимальная величина температуры обмоток возбuditеля не должна превышать $70-90^{\circ}C$. Процесс сушки контролируется периодическим измерением сопротивления изоляции мегомметром. Сушка заканчивается при установлении сопротивления изоляции и постоянстве ее в течение $3-5$ ч. При сушке возбuditель утепляется брезентом и периодически проветривается раскрытием его для удаления влаги.

Примеры расчетов при производстве сушки изоляции обмоток генераторов в неподвижном состоянии.

1. Расчет вспомогательной обмотки при сушке изоляции статора потерями в стали¹.

Данные генератора: мощность 30 мва; $U_H = 6,3$ кв; $I_H = 2750$ а; $\cos \varphi = 0,8$; $l = 270$ см; $n_K = 50$; $l_K = 1$ см; $h_3 = 15$ см; $D_H = 200$ см; $D_B = 98$ см.

Напряжение, имеющееся на станции, которое может быть использовано для сушки, 380 в. Расчет параметров обмотки ведем согласно (3), (4), (5) и (6).

Высота спинки стали статора

$$h_c = \frac{D_H - D_B}{2} - h_3 = \frac{200 - 98}{2} - 15 = 36 \text{ см.}$$

Осевая длина активной стали статора

$$l_c = k(l - n_K l_K) = 0,95(270 - 50 \cdot 1) = 209 \text{ см.}$$

Поперечное сечение спинки статора

$$Q = l_c h_c = 209 \cdot 36 = 7520 \text{ см}^2.$$

Число витков намагничивающей обмотки для индукции 7 000 гс

$$\omega_{7000} = \frac{45U}{Q \frac{B}{10000}} = \frac{45 \cdot 380}{7520 \frac{7000}{10000}} \approx 3.$$

Число витков намагничивающей обмотки для индукции 4 000 гс

$$\omega_{4000} = \frac{45 \cdot 380}{7520 \frac{4000}{10000}} \approx 6.$$

Диаметр активной стали статора, соответствующий середине спинки статора $D_0 = D_H - h_c = 200 - 36 = 164$ см.

При удельной н. с., принятой по табл. 1: $a\omega_0 = 1,45$ ав (максимальное значение), наибольшее значение н. с. для $B = 7000$ гс) составляет:

$$\pi D_0 a \omega_0 = 3,14 \cdot 164 \cdot 1,45 = 750 \text{ ав.}$$

Наибольший намагничивающий ток (для $B = 7000$ гс)

$$I = \frac{AW}{\omega} = \frac{750}{3} = 250 \text{ а.}$$

Сечение проводника намагничивающей обмотки может быть выбрано ~ 100 мм².

Полная мощность источника питания, необходимая для сушки, согласно (6):

$$S = \frac{UI}{1000} = \frac{380 \cdot 250}{1000} = 95 \text{ ква.}$$

¹ Сушка производилась автором.

2. Расчет параметров сушки изоляции обмотки статора потерями в меди на постоянном токе.

Данные генератора: мощность 11,0 Мва; $U_H = 6,3$ кВ; $I_H = 1\ 000$ а; $\cos \varphi_H = 0,65$; $R_\Phi = 0,00744$ (при $+15^\circ\text{C}$); $x_{*0} = 0,049$; $x_{*S} = 0,19$.

На электростанции имеется двигатель-генератор 220 в.

Находим сопротивление обмотки одной фазы статора при 75°C :

$$R_{\Phi 75^\circ} = R_{\Phi 15^\circ} \frac{235 + 75}{235 + 15} = 0,0092 \text{ ом.}$$

Напряжение, необходимое при последовательном включении трех фаз обмотки статора согласно (8):

$$U = 700 \cdot 3 \cdot 0,0092 = 700 \cdot 0,03 = 21 \text{ в.}$$

Мощность, необходимая для сушки:

$$S = UI \cdot 10^{-3} = \frac{21 \cdot 700}{1\ 000} \approx 15 \text{ ква.}$$

Для возможности регулирования возбуждения двигатель-генератора в пределах напряжения, необходимого для сушки, в параллельную обмотку возбуждения включается реостат, сопротивление которого в 3—5 раз превышает сопротивление регулирующего реостата, нормально установленного в цепи двигатель-генератора, при этом предполагается, что генератор имеет параллельное возбуждение.

3. Расчет параметров сушки изоляции статора потерями в меди на переменном токе при роторе, находящемся в расточке статора.

Данные генератора, как в примере 2. На станции имеется сеть переменного тока 220 в.

Обмотки статора для сушки соединяются по схеме открытого треугольника. Индуктивное сопротивление (ом) одной фазы обмотки согласно (11) равно:

$$x_0 = x_{*0} \frac{U_H}{I_H \sqrt{3}} = 0,049 \frac{6\ 300}{\sqrt{3} \cdot 1\ 000} \approx 0,175 \text{ ом.}$$

Ток нагрева выбираем

$$I_{об} = 0,4 I_H = 400 \text{ а.}$$

Напряжение, необходимое для поддержания этого тока, равно:

$$U = I_{об} \cdot 3x_0 = 400 \cdot 3 \cdot 0,175 = 200 \text{ в,}$$

что соответствует имеющемуся на станции.

Мощность, необходимая для сушки,

$$S = UI \cdot 10^{-3} = \frac{200 \cdot 400}{1\ 000} = 80 \text{ ква}$$

Выписка из журнала сушки по этому методу приведена в табл. 3

3. ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ПОВЫШЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Измерение сопротивления изоляции дает представление о среднем состоянии изоляции в отношении увлажнения и загрязнения; местные дефекты этим методом могут быть выявлены только в отдельных случаях, главным образом если они имеют вид полного замыкания. Если поврежденное место отделяется от корпуса или от другой обмотки небольшим воздушным промежутком, то ввиду малого напряжения мегомметра оно может остаться необнаруженным.

Для проверки отсутствия в изоляции местных ослаблений применяются испытания повышенным напряжением постоянного и переменного тока. Напряжение прикладывается между обмоткой и корпусом и между обмотками, т. е. испытывается главная изоляция. Изоляция между витками таким испытанием не проверяется, она испытывается наведенным напряжением при вращении возбужденного ротора в период пусковых испытаний.

При испытании изоляции повышенным напряжением переменного тока в изоляции протекают такие же процессы, как и при действительной работе, — она нагревается от диэлектрических потерь и в ней возникают градиенты потенциалов, обусловленные наличием емкостей относительно корпуса и других обмоток.

При испытании повышенным напряжением постоянного тока диэлектрические потери практически отсутствуют, распределение градиентов внутри изоляции обуславливается только омическими сопротивлениями. Изоляция при таком испытании находится в значительно более благоприятных условиях, чем при испытаниях повышенным напряжением переменного тока.

При выборе мощности испытательной установки переменного тока следует иметь в виду, что обмотка имеет значительную емкость относительно корпуса. У турбогенераторов 6—10 кВ мощностью 25—50 Мвт емкостный ток, приведенный к обмотке низкого напряжения испытательного трансформатора или автотрансформатора, достигает при испытаниях 80—100 а. Испытательный трансформатор следует выбирать с запасом по мощности, так как при перегрузке трансформатора возникает опасность перенапряжений из-за резонансных явлений

между индуктивностью трансформатора и емкостью обмотки генератора, наступающих при перенасыщении сердечника трансформатора. В соответствии с значительным емкостным током выбирается и регулирующее устройство. В целом установка получается тяжелой и дорогой. Схема установки представлена на рис. 7.

Во избежание недопустимых перенапряжений в изоляции испытываемых обмоток из-за высших гармонических

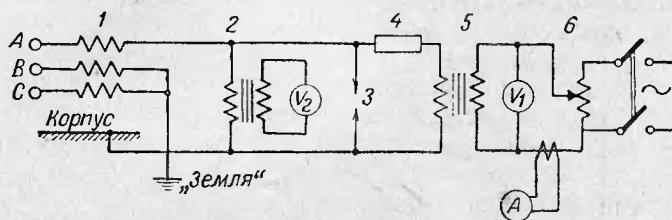


Рис. 7. Схема испытания обмоток генератора повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты.

1—обмотка статора; 2—измерительный трансформатор напряжения; 3—разрядник; 4—ограничивающее сопротивление 20—50 ком; 5—испытательный трансформатор; 6—регулирующее устройство и измерительные приборы.

в кривой напряжения питание испытательного трансформатора осуществляется от линейного напряжения, а не фазного и, кроме того, на стороне высокого напряжения трансформатора устанавливаются искровые разрядники, отрегулированные на напряжение, несколько превышающее испытательное.

При испытании постоянным током емкость обмотки статора заряжается постепенно очень небольшим током, получаемым от трансформатора через кенотрон, как показано на рис. 8,а. На вводе обмотки статора сохраняется почти постоянное напряжение, как это видно из рис. 8,б. На вводе трансформатора в максимум отрицательной полуволны возникает двойное напряжение по отношению к корпусу машины, а следовательно, и к земле, поскольку корпус машины заземлен. Это необходимо иметь в виду при выборе изоляции трансформатора. К мощности испытательного трансформатора каких-либо требований не предъявляется, им может быть измерительный трансформатор. Схема 8,в требует трансфор-

матора накала, оба ввода которого изолированы на полное рабочее напряжение.

Испытательная установка постоянного тока имеет небольшие размеры и вес, она портативна, изготавливается серийно промышленностью в нескольких исполнениях.

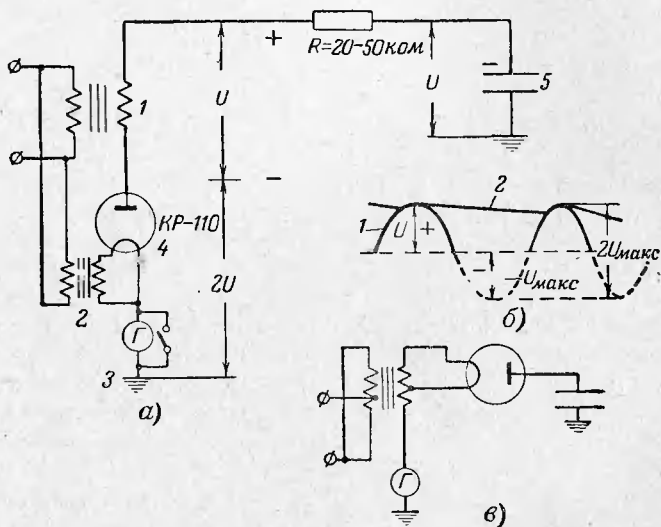


Рис. 8. Схема испытательной установки постоянного тока.

a—схема, в которой кенотрон включен с заземленного конца трансформатора; *1*—испытательный трансформатор; *2*—трансформатор накала; *3*—микроамперметр 0—100 мкА; *4*—кенотрон; *5*—испытуемая обмотка. *б*—диаграмма напряжений; *1*—рабочее напряжение; *2*—напряжение на испытуемой обмотке. *в*—схема с включением кенотрона со стороны обмотки, находящейся под полным напряжением.

Поскольку испытание выпрямленным напряжением представляет меньшую опасность в отношении повреждения изоляции генератора, хотя оно и менее эффективно, оно производится до испытания повышенным напряжением переменного тока, после установки статора на фундамент, до ввода ротора с целью проверки отсутствия механических повреждений изоляции. Напряжение медленно поднимается до $(2,2-2,5) U_n$, поддерживается на этом уровне в течение 1 мин, причем по микроамперметру (рис. 7) измеряется ток утечки. Этот ток установ-

ливается постепенно, пока не затухнет ток абсорбции и останется только ток сквозной проводимости.

Величина тока утечки не нормируется, суждение о состоянии изоляции делается на основании сопоставления токов утечки для каждой из фаз обмотки статора и построения характеристики зависимости I_y от U . При исправной изоляции токи утечки отдельных фаз обмотки статора отличаются друг от друга незначительно, а зависимость между приложенным напряжением и величиной тока утечки имеет плавный и линейный характер. При влажной изоляции наблюдается характерный излом и нарушение линейности характеристики.

Измеренный ток утечки и характеристика I_y в зависимости от U сообщаются эксплуатационному персоналу и служат исходным материалом для оценки результатов последующих испытаний в эксплуатации.

При наличии существенных местных дефектов возможен пробой изоляции, перед наступлением которого отмечаются резкие колебания стрелки микроамперметра и вольтметра.

После окончания испытания выпрямленным напряжением и отключения испытательного устройства на испытанной обмотке могут остаться заряды, опасные для жизни человека, прикоснувшегося к обмотке. Во избежание несчастных случаев после снятия напряжения испытуемый объект должен заземляться на 3—5 мин, чтобы остаточные заряды стекли в землю.

Испытания повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты производятся в том случае, если измерения сопротивления и коэффициента абсорбции изоляции и испытания повышенным напряжением постоянного тока дали положительные результаты. Оно проводится после заводки ротора, установки торцовых щитов, перед включением генератора в сеть. Испытанию подвергается обмотка каждой фазы статора отдельно относительно корпуса и соединенных с корпусом обмоток двух других фаз. При испытании напряжение медленно поднимается до значений, указанных в табл. 5, и удерживается на этом значении в продолжение 1 мин. Скорость подъема напряжения до значений 0,3—0,4 $U_{исп}$ не ограничивается, но далее подъем ведется плавно со скоростью 2—3% $U_{исп}$ в 1 сек. При испытании изоляции обмоток генераторов 10 кв и выше

после испытания повышенным напряжением рекомендуется снизить последнее до номинального и выдержать его в течение 5 мин.

Таблица 5

Мощность генератора, <i>квв</i>	Номинальное напряжение линейное, <i>в</i>	Действующее значение испытательного напряжения, <i>в</i>
Менее 1 000 1 000 и более	Все напряжения	0,75 ($2U_{\text{ном}} + 1\ 000$)
	До 3 300 включительно	0,75 ($2U_{\text{ном}} + 1\ 000$)
	Выше 3 300 до 6 600 включительно	0,75 ($2,5U_{\text{ном}}$)
	От 10 500 и выше	0,75 ($2U_{\text{ном}} + 3\ 000$)

Во время испытаний следят за показаниями вольтметра и амперметра. Испытание считается удовлетворительным, если при его проведении на приборах не замечается резких снижений напряжения и бросков тока, свидетельствующих о повреждении изоляции.

Витковая изоляция статоров генераторов испытывается при пусковых испытаниях на вращающемся генераторе.

После испытаний обмоток генератора повышенным напряжением производится повторное измерение сопротивления их изоляции мегомметром.

Испытание изоляции обмоток возбуждителя проводятся при его монтаже после измерения сопротивления изоляции обмоток мегомметром при положительных результатах этих измерений. В противном случае изоляция до испытания подвергается сушке. Изоляция испытывается повышенным напряжением переменного тока. Испытательное напряжение определяется по выражению $0,75(2U_{\text{н}} + 1\ 000)$ в.

Испытание проводится по схеме рис. 7, в которую вносятся некоторые упрощения. Например, установка разрядника не производится, в качестве испытательного трансформатора может применяться трансформатор напряжения 3 кв.

Испытанию подвергаются все обмотки по отношению к корпусу и бандажам (последнее относится к обмотке якоря).

Результаты испытаний считаются удовлетворительными, если во время испытания не произошло пробоя,

не замечалось резких снижений напряжения и бросков токов утечки.

После испытания повышенным напряжением повторно проверяется сопротивление изоляции обмоток для того, чтобы убедиться, что при испытаниях изоляция обмоток не была повреждена.

4. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

Измерение сопротивления постоянному току обмоток статора и ротора генератора производится в целях проверки отсутствия разрывов в обмотке, например из-за нарушения соединений в местах паяк; для получения исходных данных, необходимых при определении температуры обмотки, по ее сопротивлению; для использования при расчетах установившихся и переходных режимов работы и при настройке регулирующих устройств и т. п. Измерение следует производить очень тщательно, так как в противном случае могут быть сделаны неправильные выводы и расчеты. Поэтому для измерения следует применять двойной мост Томсона (рис. 9), как дающий более точные результаты по сравнению с методом амперметра—вольтметра.

При использовании метода амперметра—вольтметра следует пользоваться приборами не ниже класса 0,2; провода, подключающие вольтметр, присоединяются непосредственно к выводам обмотки (до амперметра). Схема измерения методом амперметра—вольтметра показана на рис. 10. Ток при измерениях этим методом устанавливается такой, чтобы измеряемое напряжение отсчитывалось во второй половине шкалы милливольтметра. Для питания схемы обычно используется аккумуляторная батарея на 12 в.

Измерения независимо от метода производятся при установленном тепловом режиме, при котором температура окружающего воздуха не отличается от температуры обмоток более, чем на $\pm 3^\circ\text{C}$.

Все провода, используемые в схеме измерений, должны иметь надежный контакт в местах соединения; токовые провода должны соединяться с помощью винтовых зажимов. При измерении сопротивления постоянному току обмоток ротора для надежности соединения токовых цепей с обмоткой ротора используются хомуты

с болтовыми соединениями в местах разъема, надеваемые на предварительно зачищенные кольца ротора. Концы проводников, используемые для измерения напряжения (в том числе и при пользовании мостом Томсона) подкладываются перед стягиванием под бандажи.

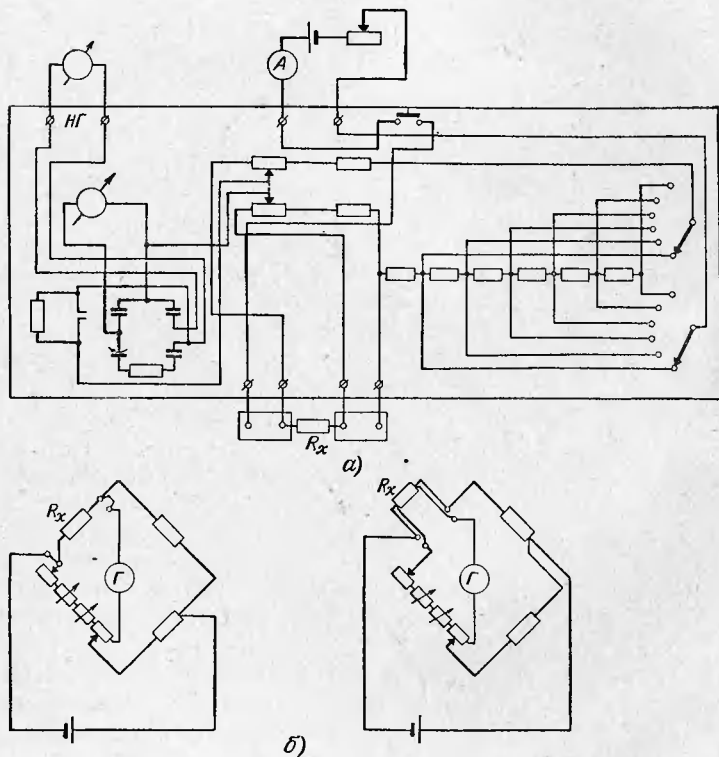


Рис. 9. Схема измерения сопротивления постоянному току.
 а — двойным мостом МДБ; б — мостом P316. R_x — измеряемое сопротивление.

При измерениях сопротивления постоянному току обмоток генератора следует помнить о большой индуктивности их, вследствие чего ток устанавливается не сразу, и приходится ждать полного успокоения стрелки приборов. После окончания измерения во избежание сильного заброса стрелок вольтметра или прибора мо-

ста по той же причине следует сперва разрывать цепь вольтметра или моста, а затем уже цепь тока. Удобно пользоваться для измерений напряжения щупами, касаясь ими вводов измеряемой обмотки лишь в момент измерения.

При измерении сопротивления постоянному току следует измерять температуру обмоток по термометрам (ртутные или проверенные термодетекторы), располагаемым не менее чем в четырех различных местах статора или ротора. За температуру измерения принимается средняя из всех измеренных температур.

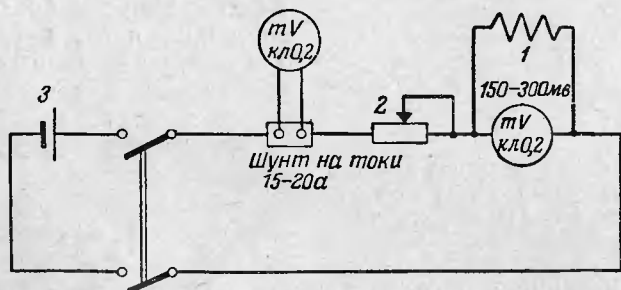


Рис. 10. Схема измерения сопротивления постоянному току методом амперметра—вольтметра.

1—обмотка, сопротивление которой измеряется; 2—регулируемый реостат типа РН-5 ЦЛЭМ Мосэнерго; 3—аккумуляторная батарея НКН-45.

За сопротивление обмоток постоянному току принимается среднее из нескольких (не менее 3—4) измерений. Измеренные значения сопротивления по фазам обмотки не должны отличаться друг от друга более, чем на 2%, и по отдельным параллельным ветвям более, чем на 5%. Результаты измерений не должны, кроме того, отличаться от результатов предыдущих измерений (в том числе заводских) более, чем на 2%.

Неудовлетворительные результаты измерений чаще всего бывают из-за плохой пайки в лобовых частях обмотки статора или в токоподводах обмотки ротора. Для установления причины повышения сопротивления производится прогрев обмоток статора постоянным током от постороннего источника; лобовые соединения прощупываются и по местному их нагреву обнаруживаются неисправности в пайке. У обмоток ротора произ-

водится в этом случае ревизия токопроводов с измерением сопротивления постоянному току по отдельным участкам.

Для удобства оценки и сравнения измеренные величины сопротивления постоянному току обычно приводятся к температуре 15°C по формуле

$$R_2 = R_1 \frac{235 + t_2}{235 + t_1}. \quad (20)$$

Измерение сопротивления постоянному току обмоток возбuditеля производится до

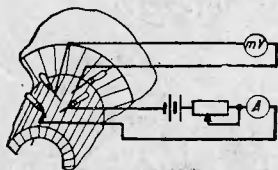


Рис. 11. Схема измерений для проверки соединений между обмоткой якоря и коллектором.

сборки его с целью проверить целостность обмоток, состояние паяк, а также для получения данных, используемых при эксплуатации генератора.

Измерение сопротивления постоянному току параллельных обмоток возбuditеля производится мостом Уитстона.

Измерение сопротивления постоянному току последовательных обмоток производится мостом Томсона. Измерению подвергается каждая обмотка возбuditеля в отдельности.

Измерение сопротивления постоянному току между коллекторными пластинами производится микроомметром, мостом Томсона или методом амперметра — вольтметра.

Измерением сопротивления постоянному току между коллекторными пластинами проверяется состояние паяк петушков, т. е. мест соединения проводников обмотки к коллекторным пластинам. Проверка паяк петушков должна производиться тщательно. Некачественная пайка может привести к аварии во время работы возбuditеля под нагрузкой. Дефект должен быть исправлен своевременно до окончания монтажных работ. Измерение производится между каждой смежной парой пластин по окружности коллектора по схеме рис. 11 до и после исправления обнаруженного дефекта.

При измерениях используются специальные щупы. Такие щупы в комплекте с микроомметром поставляются заводом.

Для измерений методом амперметра — вольтметра

применяется обычный магнитоэлектрический амперметр на 10—20 *a* и милливольтметр на 10—60 *мв*.

При измерениях необходимо иметь в виду большую индуктивность обмоток якоря и не разрывать цепь тока до отключения вольтметра, т. е. до снятия щупов с милливольтметром.

Измерения производятся при токе, достаточном для четкого измерения напряжения; этот ток поддерживается одинаковым при всех измерениях. Последнее условие дает возможность не подсчитывать для каждого измерения сопротивление постоянному току, а сравнивать между собой измеренные напряжения.

Сопротивление постоянному току по результатам измерений подсчитывается по формуле

$$R = \frac{U}{I}, \text{ ом,}$$

где I — ток в цепи якоря, *a*;

U — измеренное напряжение, *в*.

Результаты проверки состояния паек петушков считаются удовлетворительными, если величины сопротивлений или напряжений при одном и том же токе в якоре не отличаются друг от друга более, чем на 10%. Пайка петушков, для которых получены большие отклонения, считается дефектной и требует переделки. В редких случаях, при наличии в обмотке уравнительных соединений (наличие которых проверяется по заводской документации), могут иметь место закономерные отклонения отдельных результатов в пределах 20—30%.

Кроме измерения сопротивлений постоянному току отдельных паек, у якоря измеряется сопротивление постоянному току всей его обмотки в целом (измерение производится мостом Томсона или методом амперметра—вольтметра с применением щупов). Измерение производится между коллекторными пластинами, находящимися друг от друга на расстоянии по коллектору:

$$N_{\text{пластин}} = \frac{N'}{2p},$$

где N' — полное число пластин по коллектору;

$2p$ — число пар полюсов возбудителя.

Аналогично обмотке якоря в целом производится измерение сопротивления постоянному току компенсационной обмотки и обмоток дополнительных полюсов.

При измерениях определяется температура окружающего воздуха. Эта температура считается температурой обмоток, при которой производились измерения.

Все результаты измерений приводятся к температуре 15°C согласно (20) и сравниваются с результатами заводских измерений. Отклонений от результатов заводских измерений не должно быть, незначительная разница может быть лишь за счет метода измерений и класса приборов, используемых при измерениях на заводе и на месте монтажа.

После полной сборки возбудителей производится повторное измерение сопротивления постоянному току всех обмоток с выводной доски для проверки качества сборки и получения исходных данных для последующих эксплуатационных проверок, при этом сопротивление обмотки якоря чаще всего измеряется совместно с компенсационной обмоткой и обмоткой дополнительных полюсов, если соединение между ними не выведено на клеммную доску. Измерения производятся при вставленных щетках и при нескольких положениях якоря. За результат принимается средний результат всех измерений.

5. ПРОВЕРКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЧЕРЕДОВАНИЯ ФАЗ

На каждом из зажимов, к которым присоединены провода трехфазной сети, напряжение по отношению к нейтральной точке сети поочередно достигает максимального значения. Сдвиг между максимальными значениями напряжений равен одной трети периода. Если обозначить зажимы буквами A , B , C , то после того как на зажиме A напряжение достигло максимума, через треть периода максимум напряжения может быть или на зажиме B или на зажиме C . В первом случае фазы чередуются в последовательности ABC , во втором — в последовательности ACB .

От последовательности чередования фаз зависит направление вращения двигателя. Если при подведении к вводам двигателя фаз ABC он вращается, например, по часовой стрелке, то при взаимном перемещении (перекрещивании) любых двух фаз двигатель изменит направление вращения на обратное. Таким образом, последовательность чередования фаз определяет направление вращения магнитного потока в двигателе, а по-

следнее в свою очередь — направление вращения ротора двигателя и механизма, с ним связанного.

При присоединении генератора к сети последовательность чередования фаз у генератора и у сети должна быть одинаковой. В противном случае все генераторы энергосистем будут стремиться изменить направление вращения пускаемого генератора на обратное, что вызовет механическое разрушение агрегата. Для того чтобы предупредить возможность такой тяжелой аварии, перед первым включением генератора производится проверка одинаковости чередования фаз.

Предположим, что при такой проверке оказалось, что последовательность чередования фаз у генератора и у сети различны. Как было показано выше, для получения одинакового чередования достаточно «перекрестить» подводящие шины на двух любых фазах. Однако это не трудно сделать при тонких гибких проводах, но достаточно сложно при тяжелых шинах большого сечения, которыми присоединяются современные генераторы — требуются серьезные монтажные работы, которые задержат пуск генератора.

Для того чтобы избежать возможного перемонтажа, необходима проверка последовательности чередования фаз не только до пуска генератора, но и до начала монтажа присоединений к вводам статора. Наиболее простой способ установления последовательности чередования фаз в этих условиях является осмотр расположения фаз на статоре и выяснение последовательности, в которой проходит мимо фазных обмоток полюса ротора.

Для того чтобы определить расположение фазных обмоток в расточке статора, нужно иметь представление об устройстве обмотки и проследить соединения между фазными обмотками и вводами.

При скорости вращения 3000 об/мин ротор имеет два полюса, а проводники каждой из сторон обмотки одной фазы размещены на дуге 60° . Обе стороны обмотки расположены на окружности диаметрально противоположно друг другу, как это показано на рис. 12,а. Порядок соединений витков виден из рис. 12,б, на котором буквами обозначены начало и конец обмотки. Условно принято, что обмотка имеет четыре витка, в действительности же их может быть в несколько раз больше. Подход соединительных проводов начала и конца пока-

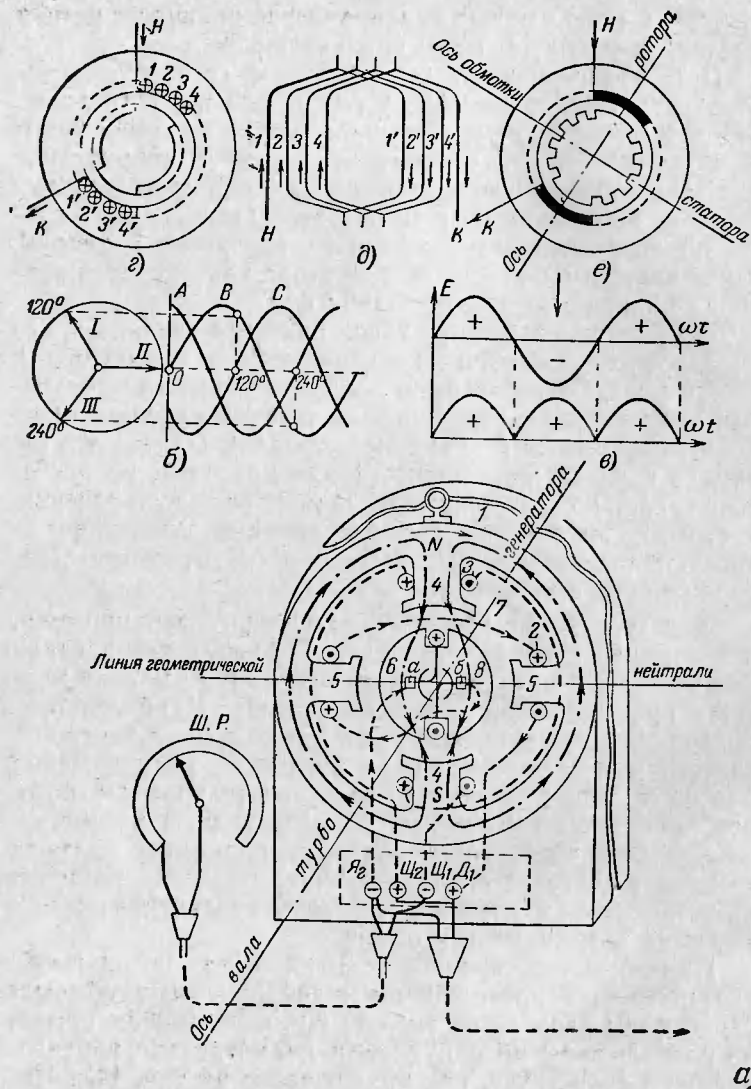
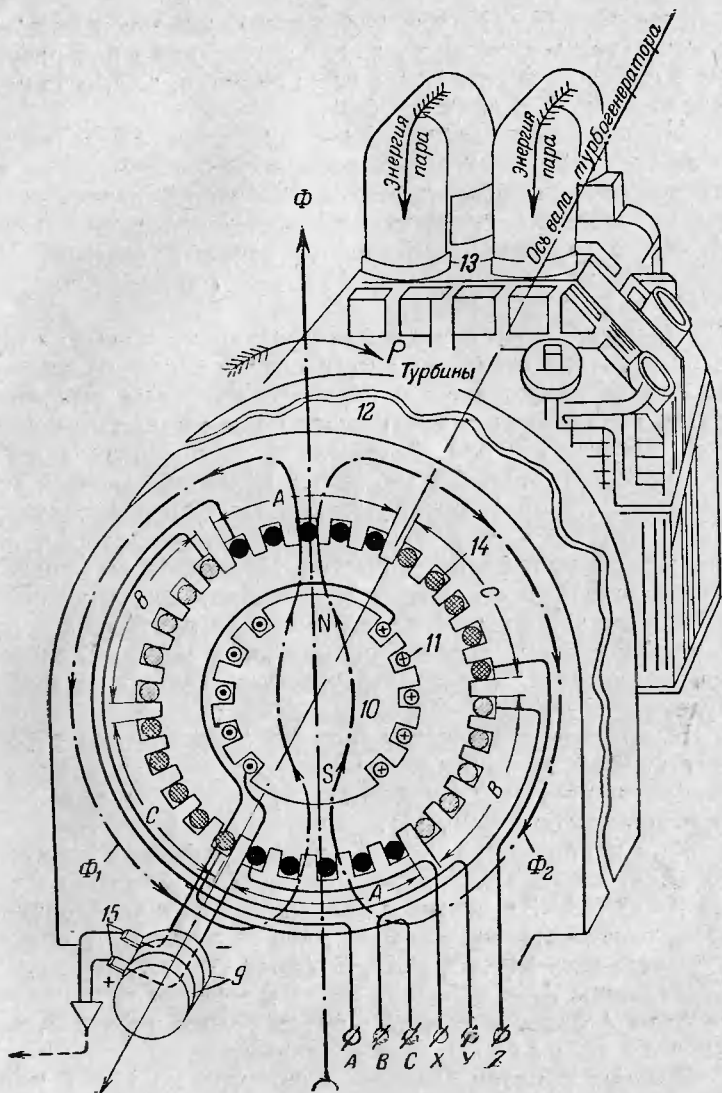


Рис. 12. Схематический рисунок турбоагрегата

1 — станина возбуждителя; 2 — обмотка дополнительных полюсов возбуждителя; 3 — магнитопровода возбуждителя; 5 — дополнительные полюсы магнитопровода возбуждителя; 9 — кольца ротора; 10 — ротор генератора; 11 — обмотка ротора; а — турбогенератор с возбуждением; б — синусоидальное измерение э. д. с. генератора на щетках якоря возбуждителя; г, д, е —



с синхронным генератором и возбудителем.

основная (шунтовая) обмотка возбуждения возбудителя; 4—основные полюсы будителя; 6—якорь возбудителя; 7—обмотка якоря возбудителя; 8—щетки воз-
 12—статор генератора; 13—турбина; 14—обмотка статора; 15—щетки ротора.
 ротора во всех трех фазах генератора; в—образование пульсирующего напряже-
 конструктивное выполнение обмоток статора.

зан на рис. 12,е. Положение ротора на этом рисунке соответствует максимуму э. д. с.; если ротор повернется на 90° и его ось совпадет с осью обмотки, э. д. с. станет равна нулю и т. д. (рис. 12,б).

На рис. 12,а изображено размещение зон обмоток всех трех фаз и показано расположение токоподводов от вводов к началам и концам обмоток. В зависимости от направления вращения ротора чередование будет $A-B-C$ (вращение ротора по часовой стрелке, как показано на чертеже) или $A-C-B$ (обратное направление вращения ротора).

Проверка чередования фаз производится после установки статора на фундамент и снятия торцовых щитов. Проверка заключается в определении путем выслеживания (начиная от вводов) входа в пазы начал всех фазных обмоток статора. Затем, зная направление вращения ротора (который в это время может находиться вне расточки статора), определяют, в какой последовательности вращаясь в данном направлении, ротор пройдет мимо начал фазных обмоток. На рис. 12 при вращении по часовой стрелке ротор пройдет паз, в который входит начало фазы A , затем паз, в который входит начало фазы B , и после этого — паз, в который входит начало фазы C . Последовательность чередования фаз будет $A-B-C$.

Направление вращения ротора задается лицом, ответственным за монтаж турбины, или определяется по расположению лопаток дисков турбины и лопаток вентилятора ротора (рис. 13).

Чередование фаз по ГОСТ в трехфазной системе маркируется в Советском Союзе латинскими буквами $A-B-C$. За нормальное (прямое) чередование принято чередование $A-B-C$, что соответствует принятой раскраске Ж (фаза A), З (фаза B) и К (фаза C). Чередование $A-C-B$, т. е. когда максимум э. д. с. после фазы A будет в фазе C , а потом только в фазе B , называется обратным чередованием.

Выводы обмоток статора генератора по ГОСТ маркируются:

C_1, C_2, C_3 —начала обмоток;
 C_4, C_5, C_6 —концы обмоток.

Конец C_4 соответствует обмотке с началом C_1 , конец C_5 — началу C_2 и конец C_6 — началу C_3 .

Маркировка концов производится заводом без учета направления вращения ротора, в направлении — по часовой стрелке, если смотреть на обмотку со стороны возбuditеля (левое вращение по ГОСТ, если смотреть на турбоагрегат со стороны турбины).

В системе с нормальным чередованием фаз $A-B-C$ генератор с последовательным расположением начал обмоток по направлению вращения ротора C_1, C_2, C_3 должен подключаться к действующей части станции следующим образом:

Вывод C_1	— к действующим	шинам	$A(Ж)$
То же C_2	—	"	" $B(З)$
" " C_3	—	"	" $C(К)$

В соответствии с установленным чередованием фаз монтажному персоналу задается раскраска фаз ошиновки и схема подключения монтируемого генератора к действующему распределительному устройству.

В Мосэнерго по исторически сложившимся обстоятельствам раскраска фаз не соответствует прямому чередованию. Раскраска соответствует системе $Ж-З-К$, но чередование — $Ж$ (фаза A) — $К$ (фаза B) — $З$ (фаза C). Это следует учитывать при новых включениях генераторов в системе Мосэнерго. В этом случае генератор с последовательностью начал обмоток C_1, C_2, C_3 должен подключаться к действующей части следующим образом:

Вывод C_1	— к действующим	шинам	$Ж$
То же C_2	—	"	" $К$
" " C_3	—	"	" $З$

6. ИЗМЕРЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНЫХ И ИНДУКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ОБМОТОК

Поведение генератора в эксплуатации в значительной мере определяется его индуктивным и активным сопротивлениями. Эти сопротивления различны для раз-

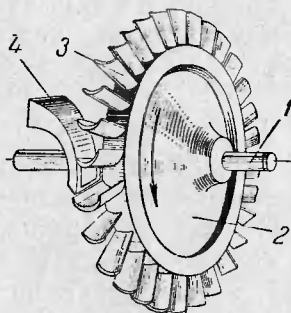


Рис. 13. Определение направления вращения агрегата.

1 — вал; 2 — диск и указание направления вращения; 3 — рабочие лопатки; 4 — направляющий аппарат.

личных режимов работы — нормального, при несимметричных нагрузках и при переходных режимах. Переходные режимы работы возникают при всяком резком изменении нагрузки, напряжении, при коротких замыканиях, при качаниях генератора и пр.

Активные и индуктивные сопротивления, характеризующие нормальный режим работы генератора, определяются при пусковых испытаниях. В период монтажа производятся измерения, позволяющие определить сверхпереходные активные и индуктивные сопротивления и сопротивления, характеризующие работу при несимметричной нагрузке.

Сверхпереходные сопротивления определяют поведение генератора в нестационарных режимах работы, в том числе в начальный период короткого замыкания на вводах генератора или в сети, на которую он работает.

Начальное значение тока короткого замыкания определяется, как частное от деления фазного напряжения на сверхпереходное индуктивное сопротивление. Различают сверхпереходное индуктивное сопротивление по продольной оси x_d'' и сверхпереходное индуктивное сопротивление на поперечной оси x_q'' . Под осями здесь разумеются оси ротора — продольная d проходит через оси полюсов, поперечная q ей перпендикулярна.

Ток короткого замыкания создает магнитодвижущую силу, направленную по продольной оси и размагничивающую генератор. В результате ток короткого замыкания затухает до установившегося значения равного фазному напряжению, деленному на синхронное индуктивное сопротивление x_d . Так как начальный ток значительно больше установившегося, то x_d'' соответственно меньше x_d .

По поперечной оси при коротком замыкании каких-либо заметных изменений магнитных состояний цепей не происходит, поэтому x_q'' примерно равно x_q . У турбогенераторов вследствие цилиндрического ротора x_d мало отличается от x_q , следовательно $x_d'' \ll x_q''$.

Активное сопротивление выше, чем сопротивление постоянному току. Происходит это потому, что при переменном токе имеет место поверхностный эффект, т. е. неравномерное распределение тока по сечению про-

водника, средняя часть сечения нагружена меньше чем части, прилегающие к внешней поверхности, вследствие чего возникают добавочные потери. Эти потери зависят от режима работы генератора, поэтому различают активные сопротивления нормального режима и активные сопротивления сверхпереходного режима r_d'' и r_q'' . Индексы d и q , так же как и у индуктивных сопротивлений, означают продольную и поперечную оси.

При несимметричных режимах работы, для облегчения расчетов, различают прямую и обратную составляющие параметров. Любой несимметричный режим работы при отсутствии заземления нейтрали можно разложить на два симметричных режима работы. Первый характеризуется магнитным потоком, вращающимся с синхронной скоростью в том же направлении, как и ротор. Второй характеризуется магнитным потоком, вращающимся с синхронной скоростью против направления вращения ротора.

Параметры для первой, — прямой составляющей режима работы являются параметрами нормального симметричного режима работы. Они определяются при пусковых испытаниях. Параметры второй — обратной составляющей (индуктивное сопротивление обратной последовательности x_2 и активное сопротивление обратной последовательности R_2) — определяются в период пуска при неподвижном роторе.

Следует заметить, что не только обмотка статора, но и обмотка ротора характеризуется активным сопротивлением, т. е. сопротивлением, возникающим при протекании переменного тока.

Объясняется это тем, что при переходных и несимметричных режимах по обмотке ротора протекают значительные переменные токи. В частности, при несимметричных режимах магнитный поток, вращающийся с синхронной скоростью против направления вращения ротора, по отношению к ротору имеет скорость, вдвое большую синхронной. В результате в обмотке ротора наводятся значительные токи.

Для характеристики явлений, имеющих место при переходных и несимметричных режимах, определяются следующие активные сопротивления ротора: сверхпереходные r_{pd}'' , r_{pq}'' и обратной последовательности R_{2p} .

В процессе монтажа, кроме сопротивления обмоток постоянного току, определяются индуктивные и активные сопротивления генераторов $x_d'', x_q'', x_2, r_d'', r_q'', R_2, r_{pd}'', r_{pq}'', R_{2p}$. Остальные параметры генераторов определяются из опытов на вращающейся машине.

Определение индуктивных и активных сопротивлений при монтаже производится стационарным методом, после установки генератора на фундамент и при вставленном роторе. Для измерений по этому методу может собираться схема, представленная на рис. 14.

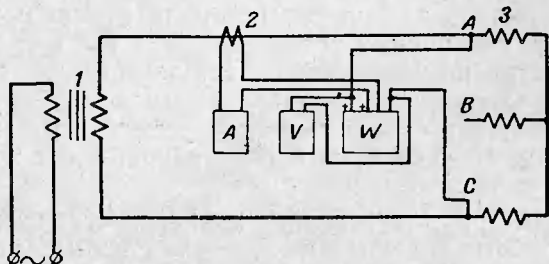


Рис. 14. Схема для определения активных и индуктивных сопротивлений обмотки статора.

1—испытательный трансформатор или сеть 220—380 в; 2—трансформаторы тока и измерительные приборы; 3—обмотка статора.

В схеме однофазное переменное напряжение от постороннего источника 12—60 в (через котельный трансформатор или от сети 127—220—380 в) подается на все три фазы генератора попарно, т. е. фазы А и В, В и С, А и С. Во всех трех опытах измеряются ток, напряжение и активная мощность:

$$I_{AB}; I_{BC}; I_{AC}; U_{AB}; U_{BC}; U_{AC}; P_{AB}; P_{BC}; P_{AC}.$$

Измерения удобно совместить с проверкой релейных защит после окончания их монтажа. Питание схемы измерений в этом случае производится таким образом, чтобы обтекались током все трансформаторы тока и соответствующие цепи релейной защиты.

Для исключения погрешностей при измерениях за счет влияния сопротивления измерительных проводов и переходных контактов вольтметр и обмотка напряжения ваттметра должны присоединяться отдельными проводами непосредственно к вводам генератора.

Во избежание возникновения в обмотке ротора значительных напряжений, поскольку в этом опыте при неподвижном роторе его обмотка как бы является вторичной обмоткой трансформатора, первичную обмотку которого составляет обмотка статора, обмотка ротора при производстве измерений на напряжении выше 60 в замыкается накоротко; рекомендуется при этом контролировать ток, протекающий в этой обмотке.

Правильность произведенных измерений может быть проведена определением косинуса ϕ и опыта ($\cos \phi$). Последний должен быть при правильных измерениях в пределах 0,2—0,4.

Ток и мощность, потребляемые при измерениях, могут быть ориентировочно подсчитаны по формулам

$$I = \frac{US_n}{2 \cdot 0,15U_n^2}, \text{ а;} \quad (21)$$

$$P = UI \cos \phi_k, \text{ кВт,} \quad (22)$$

где U — напряжение, подаваемое на вводы генератора, *кв*;

U_n — номинальное линейное напряжение, *кв*;

S_n — номинальная мощность, *Мва*.

Индуктивные и активные сопротивления определяются на основе произведенных измерений по следующим формулам.

Полные сопротивления, отнесенные к одной фазе обмотки:

$$Z_{AB} = \frac{U_{AB}}{2I_{AB}}; Z_{BC} = \frac{U_{BC}}{2I_{BC}}; Z_{AC} = \frac{U_{AC}}{2I_{AC}}, \text{ ом.} \quad (23)$$

Активные сопротивления, также отнесенные к одной фазе:

$$r_{AB} = \frac{P_{AB}}{2I_{AB}^2}; r_{BC} = \frac{P_{BC}}{2I_{BC}^2}; r_{AC} = \frac{P_{AC}}{2I_{AC}^2}, \text{ ом.} \quad (24)$$

Индуктивные сопротивления, также отнесенные к одной фазе:

$$x_{AB} = \sqrt{Z_{AB}^2 - r_{AB}^2}; x_{BC} = \sqrt{Z_{BC}^2 - r_{BC}^2}; \\ x_{AC} = \sqrt{Z_{AC}^2 - r_{AC}^2}, \text{ ом.} \quad (25)$$

Средние значения сопротивлений:

$$Z_{\text{ср}} = \frac{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{AC}}{3}, \text{ Ом}; \quad (26)$$

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_{AB} + x_{BC} + x_{AC}}{3}, \text{ Ом}; \quad (27)$$

$$r_{\text{ср}} = \frac{r_{AB} + r_{BC} + r_{AC}}{3}, \text{ Ом}. \quad (28)$$

Сверхпереходное индуктивное сопротивление по продольной оси

$$x''_d = x_{\text{ср}} - \Delta x,$$

где

$$\Delta x = 0,567 \times \sqrt{x_{AB}(x_{AB} - x_{BC}) + x_{BC}(x_{BC} - x_{AC}) + x_{AC}(x_{AC} - x_{AB})}. \quad (29)$$

Сверхпереходное индуктивное сопротивление по поперечной оси

$$x''_q = x_{\text{ср}} + \Delta x. \quad (30)$$

Индуктивное сопротивление обратной последовательности

$$x_2 \approx x_{\text{ср}}. \quad (31)$$

В процентах:

$$x\% / 0 = \frac{S_{\text{ном}} x_{(\text{Ом})}}{U_{\text{ном}}^2} 100, \quad (32)$$

где $S_{\text{ном}}$ — номинальная мощность машины, *Мва*;

$U_{\text{ном}}$ — номинальное линейное напряжение, *кв*.

Активное сопротивление по продольной оси

$$r''_d = r_{\text{ср}} - \Delta r,$$

где

$$\Delta r = 0,66 \sqrt{r_{AB}(r_{AB} - r_{BC}) + r_{BC}(r_{BC} - r_{AC}) + r_{AC}(r_{AC} - r_{AB})}. \quad (33)$$

Активное сопротивление по поперечной оси

$$r''_q = r_{\text{ср}} + \Delta r.$$

Активное сопротивление ротора

$$r_{p.c.p.} = r_{c.p.} - r_{cт.}; \quad (34)$$

$$r''_{pd} = r''_d - r_{cт.}; \quad (35)$$

$$r''_{pq} = r''_q - r_{cт.}; \quad (36)$$

$$R_{2p} = \sqrt{2} \cdot r_{p.c.p.} \quad (37)$$

В этих выражениях $r_{cт.}$ принимается равным $(2-3)r$, для генераторов, имеющих непрерывную изоляцию обмотки статора, и $(4-5)r$ для генераторов, имеющих гильзовую изоляцию; r — сопротивление одной фазы обмотки статора постоянному току. R_{2p} — активное сопротивление ротора обратной последовательности.

Активное сопротивление генератора обратной последовательности

$$R_2 = r_{cт.} + r_{p.c.p.} \sqrt{2}. \quad (38)$$

Пример расчета.

Результаты измерений для определения индуктивных и активных сопротивлений для турбогенератора 11 Мва; 6 300 в; 3 000 об/мин; 50 гц сведены в табл. 6.

Полные сопротивления:

$$Z_{A-B} = \frac{208}{2.189} = 0,536 \text{ ом};$$

$$Z_{B-C} = \frac{208}{2.174} = 0,558 \text{ ом};$$

$$Z_{A-C} = \frac{208,4}{2.210} = 0,496 \text{ ом};$$

$$Z_{c.p.} = \frac{0,536 + 0,558 + 0,496}{3} = 0,53 \text{ ом.}$$

Активные сопротивления:

$$R_{A-B} = \frac{15\,000}{2.189^2} = 0,21 \text{ ом};$$

$$R_{B-C} = \frac{15\,600}{2.174^2} = 0,257 \text{ ом};$$

$$R_{A-C} = \frac{13\,200}{2.210^2} = 0,148 \text{ ом};$$

$$R_{c.p.} = \frac{0,21 + 0,257 + 0,148}{3} = 0,205 \text{ ом.}$$

Таблица 6

Измеренная величина	Напряжение	Ток	Мощность	Ток ротора	$\cos \varphi_k$				
Тип и класс прибора	АСТ; 0,5	АСТ; 0,5	АСТ; 0,5	0,5					
Цена деления	2 в	0,05 а	10 вт	0,05					
		коэффициент трансформации трансформатора тока 600/5		трансформатор тока: 1-е измерение 10/5 2-е измерение 30/5 3-е измерение 10/5					
Фазы обмотки	Показания прибора								
	деле-ния	в	деле-ния	а	деле-ния	вт	деле-ния	а	
А—В	104	208	31,6	189	12,5	15 000	73	7,3	0,381
В—С	104,2	208,4	29	174	13	15 600	43	12,9	0,302
А—С	104	208	35	210	11	13 200	34	3,4	0,428

Индуктивные сопротивления:

$$x_{A-B} = \sqrt{0,536^2 - 0,210^2} = 0,49 \text{ ом};$$

$$x_{B-C} = \sqrt{0,558^2 - 0,257^2} = 0,494 \text{ ом};$$

$$x_{C-B} = \sqrt{0,496^2 - 0,148^2} = 0,487 \text{ ом};$$

$$x_{cp} = \frac{0,49 + 0,494 + 0,487}{3} = 0,49 \text{ ом}.$$

Индуктивное сопротивление обратной последовательности

$$x_2 = x_{cp} = 0,49 \text{ ом};$$

В процентах:

$$x_2 = \frac{0,49}{\sqrt{3 \cdot 1010}} = 13,6\%.$$

Сверхпереходные индуктивные сопротивления

$$\begin{aligned} \Delta x &= 0,667 \times \\ \times \sqrt{0,49(0,49 - 0,494) + 0,494(0,494 - 0,487) + 0,487(0,487 - 0,49)} &= \\ &= 0,0036 \text{ ом}; \\ x''_d &= 0,49 - 0,0036 = 0,486 \text{ ом}; \\ x''_q &= 0,490 + 0,0036 = 0,496 \text{ ом}. \end{aligned}$$

В процентах:

$$\begin{aligned} x''_d &= \frac{11}{39,7} 0,486 \cdot 100 = 13,5\%; \\ x''_q &= \frac{11}{39,7} 0,494 \cdot 100 = 13,7\%. \end{aligned}$$

Активные сопротивления

$$\begin{aligned} \Delta r &= 0,667 \times \\ \times \sqrt{0,21(0,21 - 0,257) + 0,257(0,257 - 0,148) + 0,148(0,148 - 0,21)} &= \\ &= 0,00633 \text{ ом}; \\ r''_d &= 0,205 - 0,00633 = 0,199 \text{ ом}; \\ r''_q &= 0,205 + 0,00633 = 0,211 \text{ ом}; \\ r_{\text{ст}} &= 3 \cdot 0,00767 = 0,02301 \text{ ом}; \\ r_{\text{р.ср}} &= 0,205 - 0,023 = 0,182 \text{ ом}; \\ r''_{\text{рd}} &= 0,199 - 0,023 = 0,176 \text{ ом}; \\ r''_{\text{рq}} &= 0,211 - 0,023 = 0,188 \text{ ом}; \\ R_{2\text{рот}} &= \sqrt{2} \cdot 0,182 = 0,258 \text{ ом}; \\ R_2 &= 0,023 + 0,258 = 0,281 \text{ ом}. \end{aligned}$$

7. ПРОВЕРКА И ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СТЯЖНЫХ БОЛТОВ, СТУЛА ПОДШИПНИКА И ТЕРМОДЕТЕКТОРОВ

На рис. 15 показано конструктивное выполнение турбогенератора. Статор генератора состоит из корпуса *I* сварной конструкции; сердечника *З*, набираемого из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм, и обмотки статора *б*, укладываемой в пазы *1З*, выштампованные на внутренней поверхности сердечника.

Каждый лист сердечника стали покрывается изоляционным лаком.

Изоляция листов препятствует протеканию вихревых токов, возникающих при изменении магнитной индук-

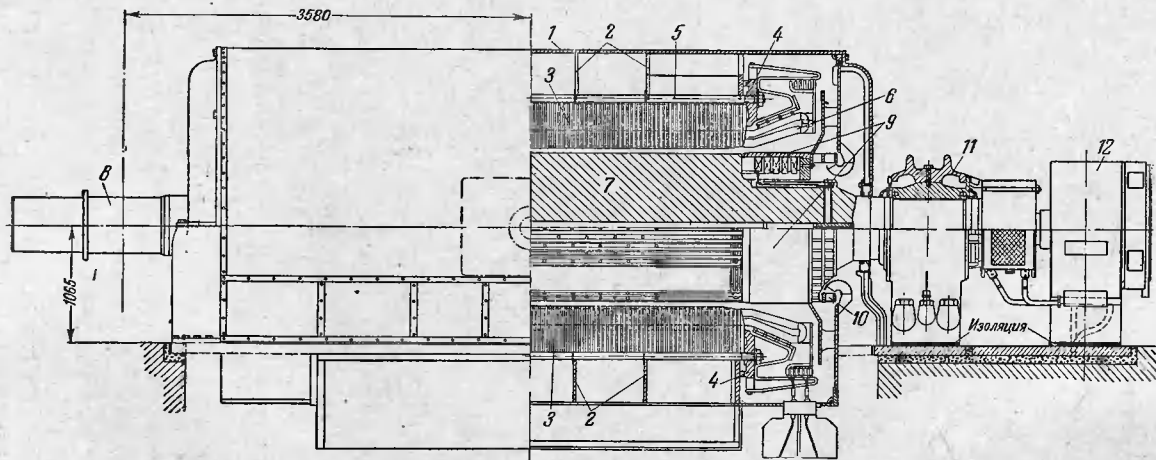


Рис. 15. Схема конструкции турбогенератора.

1—корпус генератора; 2—ребра корпуса; 3—магнитопровод статора; 4—нажимные плиты; 5—стяжные болты; 6—лобовые части обмотки статора; 7—ротор; 8—вал ротора; 9—бандажное кольцо ротора; 10—лопатки вентилятора; 11—подшипник; 12—возбудитель.

ции в стали. Тем самым снижаются потери в стали, уменьшается ее нагрев и повышается к. п. д. генератора.

В осевом направлении сердечник статора комплектуется из отдельных пакетов, в промежутках между которыми пропускается охлаждающий газ. Пакеты сердечника крепятся (рис. 16) с помощью продольных брусьев 5 к корпусу 6 статора и стягиваются с помощью нажимных плит и стяжных болтов (4 и 5 рис. 15).

Обмотки статора выполняются из медных проводников, тщательно изолируются перед укладкой в пазы и закрепляются в них клиньями 4 (рис. 16) из твердых пород дерева. Лобовые части обмотки во избежание деформаций при работе и особенно при коротких замыканиях, вызывающих большие динамические усилия, прикрепляются к специально предназначенным для этого кронштейнам (рис. 15) из немагнитного материала. Кронштейны и другие детали крепления лобовых частей делаются из немагнитного материала с целью предотвратить нагрев их током, наведенным потоком рассеяния.

Ротор турбогенератора 7 (рис. 15) выполняется из кованой стали цилиндрической формы. В выфрезерованные в нем пазы 7 (рис. 16) укладывается обмотка ротора, тщательно изолированная от корпуса. Изоляция обмотки ротора работает при значительно меньших напряжениях, чем изоляция обмотки статора; в то время как номинальное напряжение обмотки статора генератора составляет для крупных генераторов 6—10 кВ, номинальное напряжение обмотки ротора составляет 200—300 в.

Пазы ротора закрываются клиньями 8 (рис. 16) из немагнитных материалов. Лобовые части обмотки за-

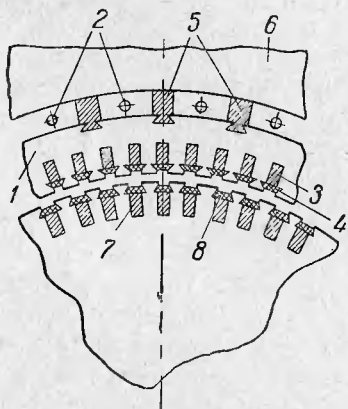


Рис. 16. Крепление активной стали статора.

1—магнитопровод статора; 2—стяжные болты; 3—паз статора; 4—клинья в пазу статора; 5—продольные брусья; 6—корпус статора; 7—паз ротора; 8—клинья в пазу ротора.

крепляются стальными бандажми для предотвращения деформации их от центробежных усилий при вращении. На валу ротора укрепляются кольца, которые соединяются с помощью токоподводов с обмоткой ротора. К кольцам ротора посредством щеточного аппарата подводится напряжение возбуждения от генератора постоянного тока, сидящего на одном валу с ротором, от возбудителя 12 (рис. 15).

Опорами вращающегося ротора в турбогенераторах служат подшипники скольжения. Последние бывают вынесенными или встроенными в торцовые щиты, прикрывающие лобовые соединения обмоток. В средних и крупных машинах используются вынесенные подшипники, прикрепленные болтами к фундаментной плите. Подшипник со стороны возбудителя изолируется обычно от фундамента для устранения подшипниковых паразитных токов.

Подшипниковые токи образуются в контуре вал ротора — подшипники — фундаментные плиты — вал ротора, главным образом из-за магнитной несимметрии поля ротора и несимметричного расположения токоподводов к обмоткам статора. Магнитная несимметрия поля ротора вызывается в машине неравномерностью воздушного зазора и неодинаковостью в связи с этим магнитных сопротивлений для силовых линий поля ротора, замыкающихся по путям частичных потоков Φ_1 и Φ_2 . При вращении ротора эти частичные потоки при наличии магнитной несимметрии периодически в некоторых пределах изменяются, причем в то время как один возрастает, другой уменьшается. В результате в теле ротора возникает э. д. с., которая при отсутствии изоляции создала бы токи $I_{\text{п}}$, препятствующие по закону Ленца изменению потоков (рис. 17).

Подшипниковые токи могут также протекать через металлические трубы маслопроводов подшипников; эти трубы могли бы явиться обходными путями по отношению к изоляционной прокладке под стулом подшипника. Поэтому в дополнение к изоляции стула подшипника изолируются также болты и фланцы маслопроводов подшипников с помощью изоляционных дисков, трубок и шайб.

Изоляция подшипников и маслопроводов проверяется при монтаже (до укладки вала ротора в подшипники)

мегомметром напряжением не менее 1 000 в. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 Мом.

При проверке изоляции маслопроводов удобно пользоваться металлической шайбой, закладываемой между изоляционными прокладками, размещаемыми между флянцами трубопроводов.

Если изоляция стула подшипника не проверена до установки ротора, то для измерения ее сопротивления один конец вала приподнимается краном. Это делается

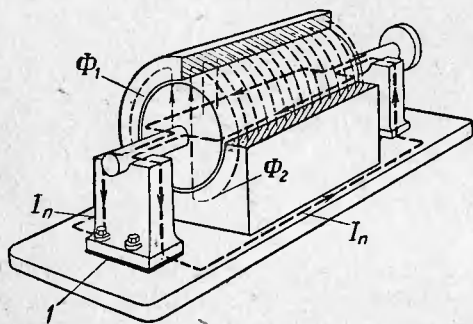


Рис. 17. Схема образования и протекания подшипниковых токов.

I — изоляция стула подшипника.

для того, чтобы исключить обходный путь через вал ротора, другие подшипники и фундаментную плиту генератора.

Проверка изоляции подшипников является простой операцией, но она требует тщательного проведения, так как в период эксплуатации ее контроль затруднен, а в некоторых новых конструкциях практически невозможен.

Стулья подшипников возбуждателя, так же как и у генераторов, во избежание паразитных токов должны изолироваться. Проверка изоляции ступей возбуждателя производится в полной аналогии с проверкой изоляции ступей генератора, поэтому в настоящем параграфе отдельно не рассматривается.

В некоторых старых конструкциях генераторов, которые еще встречаются, стяжные болты, сжимающие активную сталь статора, расположены в пределах магнитного поля статора. В таких болтах наводится э. д. с.

и могли бы возникнуть при нарушении изоляции паразитные токи. Для предупреждения их болты изолируются от корпуса. При нарушении изоляции через болт и сталь статора потекут токи, которые могут вызвать опасный нагрев болта и прилегающей к нему стали (по жар в железе).

Стяжные болты в статоре генератора в отечественных машинах вынесены, как видно из рис. 15, за пределы магнитного поля статора. Поэтому они не требуют изоляции от корпуса.

Если монтируется машина, у которой стяжные болты проходят в стали статора и имеют изоляцию, то до полной сборки машины изоляция болтов проверяется мегомметром 1000 в и испытывается повышенным напряжением 1000 в промышленной частоты в течение 1 мин.

Сопротивление изоляции стяжных болтов не нормируется, практически оно бывает не менее нескольких Мом.

Термодетекторы (термосопротивления) закладываются для измерения температур в различных местах генератора — на дне пазов (для измерения температуры стали статора), между стержнями обмоток (для измерения температур обмоток) и в различных местах системы вентиляции. Заводом устанавливаются обычно 12—24 термодетектора.

Рабочие напряжения в цепях термодетекторов настолько малы, что они не требуют особой изоляции их. Однако цепи термодетекторов охватывают различные точки генератора, находящиеся в магнитном поле статора, и при нарушении изоляции могут образовывать контуры, в которых могут возникать токи, опасные для стали. Поэтому при проверке термодетекторов обращается серьезное внимание на состояние изоляции их соединительных проводов.

Изоляция проводки к термодетекторам проверяется мегомметром 250—500 в. В случае если мегомметр имеет напряжение 500 в, изоляция проверяется при замедленном вращении ручки, чтобы не повредить ее напряжением, на которое она не рассчитана.

Сопротивление изоляции термодетекторов не нормируется; обычно оно не менее 0,5—1 Мом.

Кроме изоляции соединительных проводов, измеряется сопротивление термодетекторов постоянному току и

уточняются места их установки. Измеренное сопротивление должно соответствовать в пределах погрешностей измерений заводским данным для данного типа термодетекторов при данной температуре.

Проверка термодетекторов производится до сборки машины, чтобы можно было устранить обнаруженные при проверке дефекты, и до сушки, чтобы можно было использовать их для контроля температур при нагреве.

8. ПОНЯТИЕ О КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПЕ РАБОТЫ ВОЗБУДИТЕЛЯ

Конструктивное выполнение возбуждателей, обычно используемых для возбуждения турбогенераторов, показано на рис. 18. Возбудитель состоит из следующих основных частей:

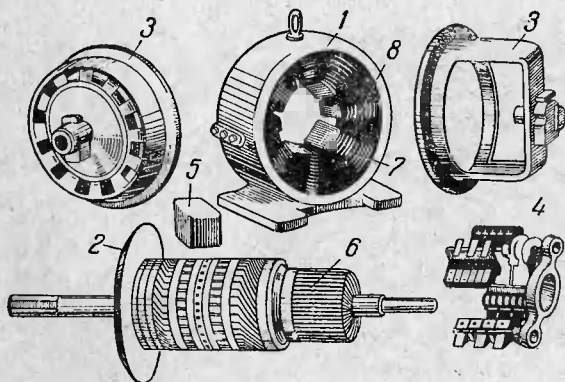


Рис. 18. Элементы возбуждателя.

1—станина; 2—якорь; 3—подшипниковые щиты; 4—траверса со щеткодержателями; 5—крышка выводов обмоток; 6—коллектор; 7—главные полюсы; 8—дополнительные полюсы.

1. Станина 1 с главными 7 и дополнительными 8 полюсами.

2. Якорь 2 с коллектором 6.

3. Траверса со щеткодержателями 4.

Станина выполняется из листовой стали. С внутренней стороны к станине прикрепляются с помощью болтов основные и дополнительные полюса

(рис. 19). Основные полюса, на которых помещаются катушки обмотки возбуждения, выполняются из листово́й электротехнической стали толщиной 0,5—1 мм для уменьшения потерь от вихревых токов в них. Потери от вихревых токов возникают в результате пульсации индукции из-за того, что при вращении якоря под полюсами проходят попеременно то зубец, то паз сердечника, вызывая то сгущение, то разрежение магнитных силовых линий. Полюса заканчиваются полюсными наконечниками, служащими для более равномерного распределения магнитного потока

вдоль окружности якоря, что в свою очередь важно для получения выпрямленного напряжения с наименьшими пульсациями.

Дополнительные полюса делаются литыми. Размещаясь между основными полюсами, они служат для устранения искрения на коллекторе при работе возбуждителя под нагрузкой.

Якорь возбуждителя выполняется цилиндрической формы с пазами, в которые укладывается обмотка, изолированная от якоря. После

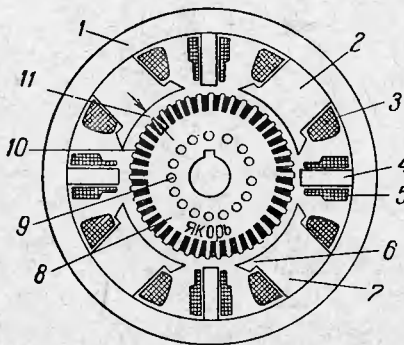


Рис. 19. Конструктивная схема якоря и возбуждителя.

1—ядро статора (станина); 2—главные полюсы; 3—обмотка возбуждения; 4—дополнительные полюсы; 5—обмотка дополнительных полюсов; 6—полюсные наконечники; 7—полосный сердечник; 8—сердечник якоря; 9—осевые вентиляционные каналы; 10—обмотка якоря; 11—воздушный зазор.

укладки обмотки в пазы последние закрываются металлическими клиньями. Продолжением якоря является коллектор, состоящий из клинообразных пластин твердотянутой меди, изолированных друг от друга и от корпуса коллектора изоляционным материалом с малым количеством связующих веществ — миканитом. Конструкция коллекторов показана на рис. 20. К каждой пластине коллектора припаиваются концы от каждой пары проводников обмотки, образующих катушку (на восемь проводников обмотки требуется четыре коллекторных пластины, на 16 проводников — восемь пластин и т. д.).

К корпусу возбuditеля крепится щеточная траверса, в которую вставляются щетки. Последние, соприкасаясь под действием пружин с коллектором, осуществляют съем тока с него.

Возбудитель, являясь генератором постоянного тока, преобразует механическую энергию вращения (от турбины) в электрическую энергию постоянного тока. Принцип работы возбuditеля виден из рис. 12,а. К обмотке возбуждения возбuditеля 4 подается постоянный ток через зажимы Ш₁—Ш₂. При протекании в обмотках возбуждения постоянного тока между полюсами их образуется магнитный поток. При вращении якоря, сидящего на одном валу с генератором, обмотка якоря пересекает силовые линии потока возбуждения, при этом в ней наводится э. д. с., создающая на полукольцах а и б разность напряжений; напряжение с полуколец а и б снимается посредством щеток и выводится на зажимы Д₁—Я₂. При подключении к зажимам Д₁—Я₂ нагрузки по обмотке якоря протекает ток.

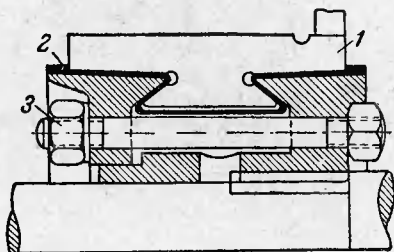


Рис. 20. Конструктивная схема коллектора.

1 — пластина коллектора; 2 — изоляция коллектора; 3 — стяжной болт.

Э. д. с., индуктируемая в обмотках якоря, является переменной, так как образование ее подчинено тому же закону, что и образование э. д. с. в генераторах переменного тока. Однако благодаря наличию полуколец в нагрузке будет протекать меняющийся по величине, но постоянный по знаку, пульсирующий ток (рис. 12,в). Происходит это потому, что когда э. д. с. в обмотке якоря меняется по знаку, в то же время происходит и смена колец под щетками.

Процесс повторяется периодически при дальнейшем вращении ротора. Таким образом, при движении якоря сохраняется неизменной полярность щеток.

Э. д. с. одного витка очень невелика. Для получения необходимой э. д. с. обмотка якоря выполняется из мно-

гих витков, соединяемых последовательно. При наличии большого числа витков и соответственно пластин коллектора (заменяющего в этом случае полукольца) пульсации значительно уменьшаются и в нагрузке протекает практически постоянный ток. Это наглядно показано на рис. 21, на котором представлены форма э. д. с. для обмотки, состоящей всего лишь из четырех витков. Каждая синусоида на рисунке соответствует изменению

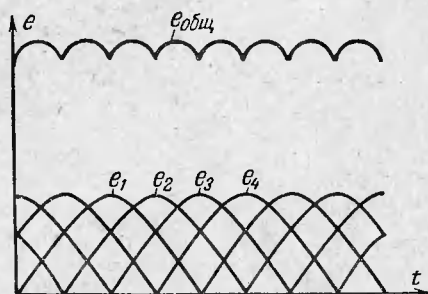


Рис. 21. Кривая напряжения на вводах якоря машин постоянного тока.

э. д. с. в одном витке обмотки. Суммарная э. д. с. $e_{\text{общ}}$, снимаемая со щеток, представляет собой сумму всех э. д. с. отдельных витков e_1, e_2, e_3, e_4 . Пульсации суммарной э. д. с. значительно меньше пульсаций э. д. с. одного витка.

Для получения максимальной суммарной э. д. с. всех последовательно включенных витков щетки располагаются на геометрической нейтральной, т. е. линии, перпендикулярной оси полюсов $N-S$ (рис. 12).

Генераторы постоянного тока различаются между собой способом возбуждения, т. е. питания обмоток возбуждения постоянным током. В генераторах с независимым возбуждением питание обмотки возбуждения осуществляется от постороннего источника постоянного тока. В генераторах с параллельным возбуждением питание обмотки возбуждения осуществляется от самого генератора подключением обмот-

ки возбуждения к выводам генератора параллельно обмотке якоря. В генераторах последовательного возбуждения возбуждение осуществляется током нагрузки генератора подключением обмоток возбуждения последовательно с обмоткой якоря. В генераторах со смешанным возбуждением возбуждение осуществляется частично последовательной и частично параллельной обмотками.

Современные возбудители крупных турбогенераторов представляют собой генераторы постоянного тока с параллельным возбуждением (рис. 12).

Для возможности осуществления регулирования возбуждения генераторов, т. е. тока в роторе генератора, в цепи параллельной обмотки возбудителя предусматривается регулировочный реостат. При изменении сопротивления этого реостата изменяется ток возбуждения возбудителя, а следовательно, э. д. с. и напряжение возбудителя, напряжение на обмотке ротора и ток ротора. При увеличении сопротивления реостата напряжение на возбудителе и соответственно ток возбуждения генератора будут снижаться; при уменьшении сопротивления реостата напряжение на возбудителе и соответственно ток возбуждения генератора будут увеличиваться.

При работе возбудителя генератора постоянного тока на холостом ходу поток возбуждения, создаваемый обмоткой возбуждения, имеет вид, представленный на рис. 22,а. Магнитный поток симметричен относительно оси поля, проходящей через середины полюсов N и S , и относительно физической нейтральной (линия $a-b$) (рис. 22).

При протекании по обмотке якоря тока нагрузки вокруг него образуется магнитный поток реакции якоря (рис. 22,б). В результате взаимодействия полей возбуждения и реакции якоря в машине создается результирующее поле, имеющее вид, показанный на рис. 22,в. Магнитные силовые линии результирующего поля у набегающего конца полюса ослабевают, а у сбегающего конца полюса усиливаются. Физическая нейтральная результирующего поля вследствие этого смещается в сторону движения якоря ($a'-b'$ на рис. 22,в).

Смещение физической нейтральной влияет отрицательно на коммутацию, т. е. процессы, происходящие при

переключении ветвей обмотки якоря под щетками на вращающемся коллекторе. Процесс коммутации машин постоянного тока сложен. На рис. 23, *а*, *б*, *в*, в упрощенном виде изображены три момента взаимного расположения коллекторных пластин (обмотки якоря) и щеток при вращении якоря. На рис. 23, *а* щетка находится над коллекторной пластиной 1. Ток в этом случае притекает из обеих параллельных ветвей (находящихся под разными полюсами) к пластине 1 и далее через щетку — во внешнюю цепь. На рис. 23, *б* щетка уже находится над

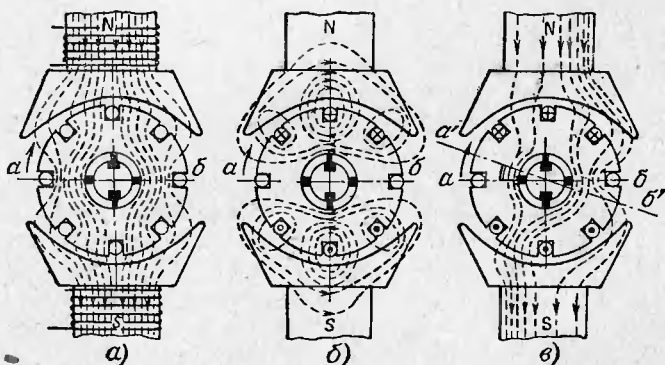


Рис. 22. Реакция якоря машин постоянного тока.

коллекторной пластиной 2. При переходе щетки с коллекторной пластины 1 на коллекторную пластину 2 ток в стержне *а—б* и *б—в* меняет, как видно из приведенного на рисунке токораспределения, направление на обратное. На рис. 23, *в* щетка занимает промежуточное положение между двумя предыдущими случаями, замыкая обе пластины 1 и 2. В этом случае в короткозамкнутом витке *а—б—в* на основании закона Ленца образуется э. д. с. самоиндукции, препятствующая изменению тока при переходе щеток с коллекторной пластины 1 на коллекторную пластину 2. Из рис. 23, *в*, на котором сплошными стрелками показан ток нагрузки, а пунктиром — ток, вызванный э. д. с. самоиндукции, видно, что в проводнике *а* оба тока складываются, а в проводнике *в* оба тока вычитаются. Естественно, что плотность тока на

сбегающем конце щетки за счет тока, образуемого э. д. с. самоиндукции, будет при коммутации увеличиваться, а на набегающем — уменьшаться.

Кроме явления самоиндукции, на коммутацию влияет то, что при переходе щетки с коллекторной пластины 1 на коллекторную пластину 2 плотность тока нагрузки за счет изменения площади соприкосновения щетки и пла-

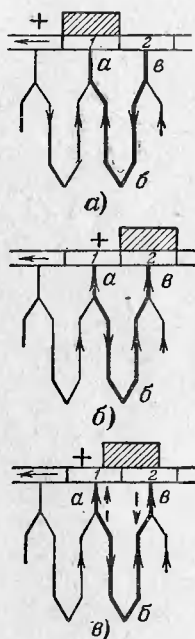


Рис. 23. Упрощенная диаграмма процесса коммутации на коллекторе.

стин увеличивается на сбегающем конце и уменьшается на набегающем конце щетки.

Увеличение плотности тока за счет явления самоиндукции и изменения площади соприкосновения щетки и пластин вызывает искрение и нагрев щеток на сбегающем конце щеток.

Смещение физической нейтрали при нагрузке и образование в месте съема э. д. с., т. е. в геометрической нейтрали, потока, по знаку аналогичного знаку потока самоиндукции, ухудшает коммутацию еще больше, т. е. приводит к еще большему искрообразованию. Для

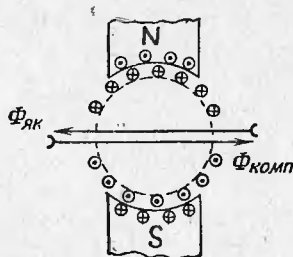


Рис. 24. Схема действия компенсационной обмотки.

$\Phi_{ЯК}$ — поток реакции якоря; $\Phi_{КОМП}$ — поток компенсационной обмотки.

устранения этого явления и обеспечения безыскровой коммутации в геометрической нейтрали устанавливаются дополнительные полюсы, обмотка которых включается последовательно с обмоткой якоря. Полярность обмоток дополнительных полюсов согласовывается с полярностью основной обмотки возбуждения таким образом, чтобы при нагрузке возбудителя (генератора постоянного тока) поток, создаваемый током нагрузки в обмотке дополнительных полюсов был направлен навстречу потоку самоиндукции и компенсировал его.

Поток дополнительных полюсов должен зависеть от нагрузки, так как чем больше нагрузка, тем больше э. д. с. самоиндукции при коммутации. Это достигается включением обмотки дополнительных полюсов последовательно с обмоткой якоря.

Но дополнительные полюсы действуют только в зоне коммутации (по геометрической нейтрали). В то же время на процесс искрообразования влияет и искажение основного поля реакцией якоря вне этой зоны. Искажение в остальной части поля обуславливает резкую разницу в э. д. с., индуктируемых в соседних секциях обмотки якоря, а в результате и резкую разность потенциалов между соседними пластинами коллектора. Последнее может явиться причиной возникновения дуги между пластинами. Во избежание этого машины постоянного тока снабжаются компенсационной обмоткой, выполняемой в полюсных башмаках (рис. 24) и включаемой (последовательно с обмоткой якоря с действием против потока реакции якоря), т. е. так же, как и обмотка дополнительных полюсов.

9. ПРОВЕРКА ПОЛЯРНОСТИ ОБМОТОК ВОЗБУДИТЕЛЯ И ЧЕРЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОЛЮСОВ

Вводы обмоток электрических машин постоянного тока согласно ГОСТ 183-55 обозначаются, как приведено в табл. 7.

В основу обозначений положено условие, что при правом вращении машины постоянного тока в режиме двигателя (т. е. по часовой стрелке, если смотреть на машину со стороны приводного конца) ток в его обмотках протекает от начала 1 к концу 2. Исходя из этого,

Наименование выводов обмоток	Обозначение выводов	
	Начало	Конец
Обмотка якоря	$Я_1$	$Я_2$
Компенсационная обмотка	$К_1$	$К_2$
Обмотка добавочных полюсов	$Д_1$	$Д_2$
Последовательная обмотка возбуждения	$С_1$	$С_2$
Параллельная обмотка возбуждения	$Ш_1$	$Ш_2$
Пусковая обмотка	$П_1$	$П_2$
Уравнильный провод и уравнильная обмотка	$У_1$	$У_2$
Обмотка особого назначения	01; 03	02; 04

в режиме генератора ток во всех обмотках, кроме включаемых специально на размагничивание и параллельных, при правом вращении должен протекать от конца 2 к началу 1 (рис. 25):

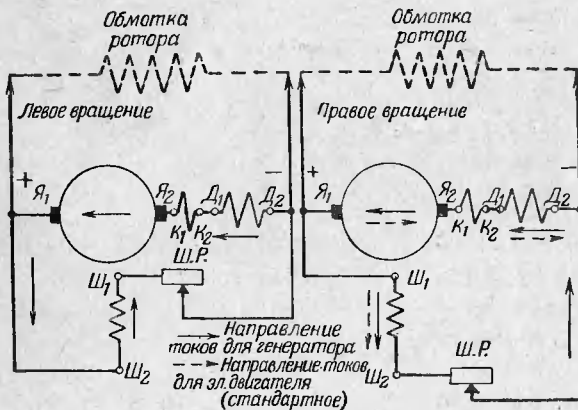


Рис. 25. Направление токов в обмотках возбудителя при различных направлениях вращения его по ГОСТ.

При монтаже у возбудителей должно быть проверено соответствие полярностей обмоток заводским обозначениям выводов, правильность внутренних соединений, а также чередование основных и дополнительных полюсов для данного направления вращения.

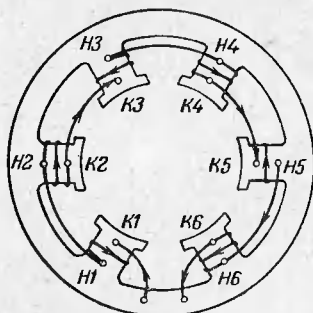


Рис. 26. Правильное соединение катушек основных полюсов возбуждения; Н1—Н6 — начала обмоток; К1—К6 — концы обмоток.

Проверка чередования главных полюсов производится внешним осмотром на разобранном возбудителе. Задаваясь условно каким-либо направлением тока, просматривают за направлением протекания его по обмоткам и по правилу буравчика определяют полярность полюсов. За каждым северным полюсом должен следовать южный и наоборот (рис. 26).

Проверка чередования главных и дополнительных полюсов производится на разобранной машине с помощью вспомогательной рамки.

Проверка производится следующим образом. Собирается схема, показанная на рис. 27. К основной (параллельной) обмотке на выводах через рубильник подключается переносная аккумуляторная батарея 6—12 в. К поверхности основного полюса прикладывается рамка, сделанная из нескольких витков провода небольшого сечения, на концах которой подключается чувствительный гальванометр.

При кратковременном включении рубильника в первый момент в рамке наводится э. д. с., и гальванометр отклоняется. Повторив для уверенности опыт несколько

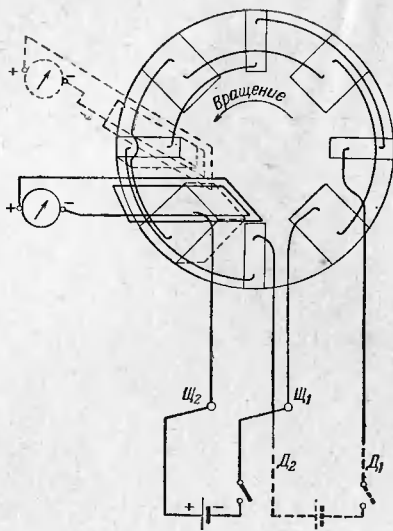


Рис. 27. Схема проверки чередования основных и дополнительных полюсов на разобранном возбудителе с помощью вспомогательной рамки.

раз, замечается знак отклонения гальванометра. Затем рамка с подключенным гальванометром переносится (той же плоскостью) на поверхность предыдущего по направлению вращения якоря дополнительного полюса, а батарея переключается на выводы обмотки дополнительного полюса. При включении батареи вновь замечается знак отклонения гальванометра и последний сравнивается со знаком отклонения в предыдущем опыте. Если он такой же, то это значит, что для данного направления вращения якоря выводы основной обмотки и обмотки дополнительных полюсов, к которым подключался один и тот же зажим батареи (+ или —), однополярны. При сборке возбuditеля следует в этом случае обмотку дополнительных полюсов и главную (параллельную) обмотку включить в схему таким образом, чтобы в них при работе возбuditеля протекал ток от одних однополярных зажимов к другим (например, от $Ш_1$ к $Ш_2$ и $Д_2$ к $Д_1$ для правого вращения и от $Ш_2$ к $Ш_1$ и $Д_2$ к $Д_1$ — для левого вращения).

Во избежание перемагничивания полюсов возбuditеля плюс батареи следует подключить к предполагаемому соответствующему зажиму основной обмотки ($Ш_2$ — для левого вращения и $Ш_1$ — для правого вращения).

Определение правильности соединения обмотки якоря, обмотки дополнительных полюсов и компенсационной обмотки

Поток обмотки дополнительных полюсов и компенсационной обмотки должен быть направлен против потока реакции якоря для того, чтобы компенсировать его и уничтожить его отрицательное действие. Проверяется это на собранной машине. Для этой цели в зазор между дополнительным полюсом и якорем вставляется рамка, как при определении чередования основных и дополнительных полюсов, с гальванометром, а к обмотке якоря и к обмотке дополнительных полюсов поочередно подключается кратковременно аккумуляторная батарея, как показано на рис. 28. При противоположных отклонениях гальванометра однополярными зажимами следует считать такие, к которым подключался один и тот же за-

жим батареи. При сборке возбuditеля в этом случае следует соединять вместе разнополярные зажимы (например $Я_2$ с $Д_1$), чтобы ток в обмотках якоря и дополнительных полюсов протекал от одних однополярных зажимов к другим.

При наличии в машине компенсационной обмотки импульс от аккумуляторной батареи подается на обмот-

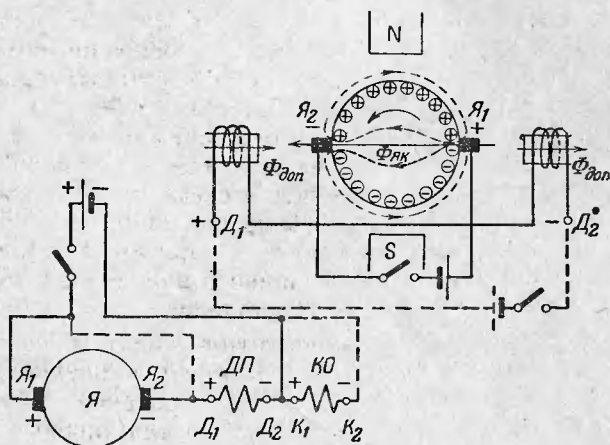


Рис. 28. Схема проверки правильности соединения обмоток якоря, дополнительных полюсов и компенсационной обмотки.

ку дополнительных полюсов и компенсационную обмотку, соединенных вместе, так как соединение их осуществляется заводом внутри машины. В этом случае опытом устанавливается правильность включения обмотки дополнительных полюсов и компенсационной обмотки вместе по отношению к обмотке якоря.

Правильность соединения компенсационной обмотки и обмотки дополнительных полюсов может быть установлена только прослеживанием соединений на разобранной машине, аналогично тому, как это делается при проверке чередования главных полюсов, т. е. задаваясь условным направлением токов и пользуясь правилом «буравчика».

Если соединение обмоток осуществляется на клеммнике, правильность соединения их может быть установлена индуктивным методом, подачей импульсов от батареи на одну из них и определением знаков отклонения стрелки гальванометра, подключаемого к другой из них. Плюс батареи и плюс гальванометра при проверке в этом случае должны подключаться к выводам I (D_1 и K_1). Считая их однополярными в случае отклонения гальванометра (полярность последнего предварительно проверяется) в положительную сторону (вправо), соединяют вместе разнополярные выводы (D_2 с K_1).

Определение полярности выводов якоря (щеток) производится для правильного подсоединения к возбудителю измерительных цепей и других устройств, связанных с цепями возбуждения генератора.

Перед определением полярности составляется схема соединения обмоток возбудителя на основе всех предыдущих проверок. При правильной заводской маркировке выводов схема должна соответствовать схеме рис. 25 для действительного направления вращения якоря. По такой схеме, где учтено правильное согласование, производится соединение всех обмоток. После этого остается лишь неизвестной полярность основных выводов (щеток). Обычно $+$ должен быть на выводе якоря $Я_1$. Тогда $+$ должен быть также на выводе $Ш_1$ (для правого вращения) и $Ш_2$ (для левого вращения). Проверяется это следующим образом: $+$ батареи (постороннего источника) подключается к $Ш_1$ или $Ш_2$, в зависимости от направления вращения якоря, а к выводам якоря подключается милливольтметр ($+$ прибора к $Я_1$). При резком толчке якоря милливольтметр отклонится при правильной заводской маркировке в правую сторону. В противном случае надо исходить для подключения внешних цепей из установленной при проверке полярности.

Существует другой способ определения полярности выводов якоря. К якорю возбудителя между коллекторными пластинами в точках, равностоящих от разноименных смежных щеток, как показано на рис. 29, с помощью щупов подключается милливольтметр. В момент подключения батареи к обмотке возбуждения с соответствующей (заводской маркировке) полярностью в обмотке якоря на основе закона электромагнитной индукции (Ленца) образуется противо-э. д. с., имеющая

в отдельных проводниках знаки, показанные в кружках на рисунке. Знаки э. д. с. проводников будут таковы, как будто физическая нейтраль, имеющая место при работе машины, сместилась по направлению вращения якоря на половину полюсного деления (совпадая с направлением потока основных полюсов), при этом милливольтметр, подключенный по линии, соответствующей образовавшейся физической нейтрали, отклонится. Если он отклонится вправо, то это значит, что и полярность э. д. с. в точке *a* плюс, а в точке *b* минус. Полярность щеток будет соответствовать полярности той точки коллектора, которая расположена ближе к ней против движения якоря.

Если на разобранной машине проверка чередования основных и дополнительных полюсов по какой-либо причине не производилась, то она может быть произведена на собранной машине. Проверка производится по схеме рис. 30. Поочередно к параллельной обмотке, затем к обмотке дополнительных полюсов с соответствующей рисунку полярностью подключается батарея. В обмотках якоря в обоих случаях образуется противо-э. д. с., аналогично тому, как это имело место при определении полярности щеток (рис. 29). В первом случае замечается знак отклонения стрелки милливольтметра, подключенного к коллектору под дополнительным полюсом (учитывая, что в действительности стержень обмотки якоря, находящийся под основным полюсом из конструктивных соображений соединяется с пластиной коллектора, находящейся под дополнительным полюсом); во втором случае замечается знак отклонения стрелки милливольтметра, смещенного одноименными концами по коллектору под ближайший против движения якоря основной полюс. Если отклонение стрелки милливольтметра в обоих случаях проверки одинаковое, то однополярными зажимами для данного направления вращения следует считать те, к которым подключался один и тот же зажим батареи.

Данный способ проверки чередования принципиально не отличается от способа проверки с помощью вспомогательной рамки на разобранной машине. Роль рамки в этом случае играет обмотка якоря.

Для четкости измерений лучше, чтобы концы от милливольтметра при измерениях чуть были смещены отно-

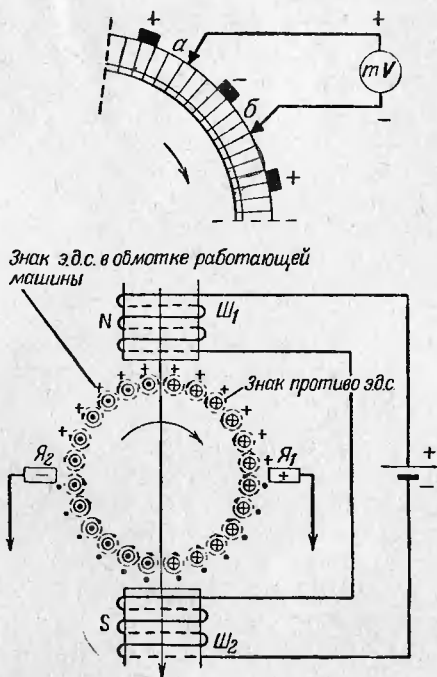


Рис. 29. Определение полярности выводов якоря.

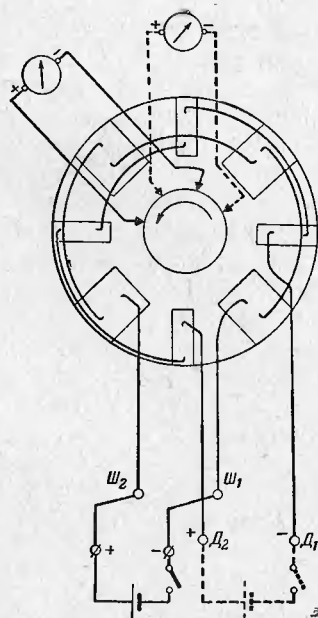


Рис. 30. Проверка чередования основных и дополнительных полюсов на собранном возбудителе.

сительно оси полюсов, под которыми они производятся, в сторону вращения якоря.

Проверка и установка щеток возбудителя на геометрической нейтрали. Щетки, исходя из рассмотренного выше явления коммутации и наличия во всех возбудителях дополнительных полюсов, устанавливаются всегда строго на геометрической нейтрали.

Установка щеток проверяется индуктивным методом с помощью милливольтметра и аккумуляторной батареи. Милливольтметр подсоединяется к щеткам. Аккумуляторная батарея подключается через рубильник к параллельной обмотке возбуждения. При кратковременных включениях батареи, перемещая щеточную траверсу (предварительно ослабив крепящие винты), находят такое ее положение, при котором отклонения стрелки мил-

ливольметра минимальные. Установка проверяется при нескольких положениях якоря во избежание случайного результата из-за возможного несимметричного расположения обмотки якоря по отношению к щеткам. При симметричном расположении обмотки якоря должны иметь место четкие нулевые показания милливольтметра в положении щеточной траверсы на геометрической нейтрали. В последнем положении траверса закрепляется винтами и после этого производится контрольная проверка.

10. ОФОРМЛЕНИЕ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ОКОНЧАНИИ РАБОТ ПО ПРОВЕРКЕ И ИСПЫТАНИЯМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Результаты проверок, испытаний электрооборудования оформляются протоколами, формы которых имеются в каждой организации, занимающейся наладкой. Протоколы оформляются в двух экземплярах, из которых один экземпляр сдается заказчику и от него поступает эксплуатационному персоналу. Кроме протоколов, в ряде организаций составляются отчеты.

Протоколы должны быть подписаны лицами, производящими испытания и проверки, а также ответственными представителями организации, производящей наладку электрооборудования.

Электрооборудование может быть принято в эксплуатацию только при наличии протоколов проверки и испытаний его. Протоколы подтверждают выполнение всех проверок, испытаний и измерений в объеме требований ПУЭ и служат исходным материалом для эксплуатации при последующих плановых и аварийных проверках.

Рекомендуемые формы протоколов испытаний даны в приложениях 1—4.

ПРОТОКОЛ № _____

Испытание изоляции обмоток генератора (компенсатора)

_____ (объект)

_____ наименование машины, стан-

_____ ционный №

Дата испытаний _____ 196 г.

1. Паспортные данные

Завод	Тип	Мощность (_____)	Напряжение (вольт)	Заводской номер

2. Измерение сопротивления изоляции обмоток и определение коэффициента абсорбции

Обозначение испытуемой обмотки (фазы, ветви)	До испытания по пункту 3				После испытания по пункту 3			
	Относительно корпуса (Мом)		R_{60}''	Температура обмотки при опыте, °C	Относительно корпуса (Мгом)		R_{60}''	Температура обмотки при опыте, °C
	R_{60}''	R_{15}''	R_{15}''		R_{60}''	R_{15}''	R_{15}''	
Статор								
Ротор								

R_{60}'' между обмотками (Мгом)

До испытания по пункту 3

После испытания по пункту 3

Обозначение испытуемой обмотки (фазы, вывода)

Сопротивление изоляции каждой фазы (ветви) измерялось относительно остальных (заземленных)

Рекомендации по сушке

Сушка обмоток генератора (компенсатора) требуется (лишнее
не требуется) зачеркнуть)

(указать причину)

3. Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением

Обозначение испытуемой обмотки (фазы, ветви)	Испытание повышенным напряжением переменного тока				Испытание выпрямленным напряжением			
	Продолжительное напряжение (ч/в)	Продолжительность испытания (мин)	Результат испытания	Продолжительное напряжение (ч/в)	Продолжительность испытания (мин)	Ток утечки (мкА)	Результат испытания	
Статор								
Ротор				Максимальное отношение токов утечки обмоток при $U_{исп} = (2 \div 2,5) U_{ном}$				

Температура обмоток при опыте: ротора _____ °С; статора _____ °С

Температура обмоток при опыте _____ °С

Испытание изоляции каждой обмотки производилось относительно корпуса и остальных заземленных обмоток

Примечание. _____

Контрольные приборы

№ п/п.	Наименование	Шкала	Класс	Заводской №

Заключение

Испытание произвели: _____

Протокол проверил: _____

ПРОТОКОЛ № _____
 ИСПЫТАНИЕ
 генератора
 синхронного компенсатора

(станция, подстанция)

 (станционный номер)

 _____ 196 г.
 (дата испытания)

1. Паспортные данные

Завод-изготовитель	Тип	Год выпуска	Заводской номер	ГОСТ	Схема соединения обмоток	Число оборотов в минуту	Частота, гц

Напряжение статора, в	Охлаждение	Температура охлаждающей среды, °С	Мощность		Ток статора, а	Кэф-фициент мощ-ности	Возбуждение	
			квa	квт			Напря-жение, в	Ток, а
	Водородное							
	Воздушное							

2. Измерение сопротивления изоляции обмоток и определение коэффициента абсорбции

Относительно корпуса и остальных сообщенных с ним обмоток

	Обозначение выводов обмоток статора (фаз, ветвей)						
$R_{60,,,} \text{ Мом}$							
$R_{15,,,} \text{ Мом}$							
$R_{60,,,}/R_{15,,,}$							

Между обмоткамн

	Обозначение выводов обмоток статора						
$R_{60,,,} \text{ Мом}$							

Относительно корпуса

	Ротор	Обозначение выводов обмоток статора (фаз, ветвей)						
$R_{60,,,} \text{ Мом}$								

Температура обмоток при опыте:

ротор _____ °С; статор _____ °С

3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току

Обмотки статора

Фаза, ветвь (обозначение выводов)	Напряжение, <i>в</i>	Ток, <i>а</i>	Сопротивление ветви, <i>ом</i>		Сопротивление фазы, <i>ом</i>	
			Из опыта	Приведенное к 15° С	Из опыта	Приведенное к 15° С

Обмотки ротора

№ полюсов (при опыте)	Сопротивление обмотки полюса, <i>ом</i>	Сопротивление переходного контакта		Общее сопротивление обмотки ротора, <i>ом</i>	
		№ полюсов (при опыте)	<i>Мком</i>	Из опыта	Приведенное к 15° С

Температура обмоток при опыте:

статора _____ ° С

ротора _____ ° С

Метод измерения сопротивления обмоток

4. Определение сверхпереходных индуктивных сопротивлений и сопротивлений обратной последовательности стационарным методом

Фаза	Результаты замеров			$Z = \frac{U}{2I}, \text{ ом}$	$R = \frac{P}{2I^2}, \text{ ом}$	$X = \sqrt{Z^2 - R^2}, \text{ ом}$
	$I, \text{ а}$	$U, \text{ в}$	$P, \text{ Вт}$			
$\Delta x, \text{ ом}$	$x_{cp} \approx x_2^3, \text{ ом}$	$x''_d = x_{cp} - \Delta x$		$x''_q = x_{cp} + \Delta x$		
		ом	%	ом	%	

¹ $P = P_{\text{опыта}} - P_{\text{прибора}}$

² $\Delta x = 0,667 \sqrt{x_{ab}(x_{ab} - x_{bc}) + x_{bc}(x_{bc} - x_{ac}) + x_{ac}(x_{ac} - x_{ab})}$

³ $x_{cp} = \frac{x_{ab} + x_{bc} + x_{ac}}{3}$

5. Определение активных сопротивлений стационарным методом

$\Delta R^4, \text{ ом}$	$R_{cp}, \text{ ом}$	$R''_d = R_{cp} - \Delta R$		$R''_q = R_{cp} + \Delta R$		$R_{ст}^5, \text{ ом}$
		ом	%	ом	%	
$R_{рот.ср}^6, \text{ ом}$	$R''_d \text{ рот} = R''_d - R_{ст}$		$R''_q \text{ рот} = R''_q - R_{ст}$		$R_2^7, \text{ ом}$	$R_2^8 \text{ рот}, \text{ ом}$
	ом	%	ом	%		

¹ $\Delta R = 0,667 \sqrt{R_{ab}(R_{ab} - R_{bc}) + R_{bc}(R_{bc} - R_{ac}) + R_{ac}(R_{ac} - R_{ab})}$

² $R_{ст} = \frac{P_{к.з}}{3I_H^2}$, где $P_{к.з}$ — потери в статоре при номинальном токе.

³ $R_{рот.ср} = R_{cp} - R_{ст}$. $R_2 = R_{ст} + \frac{(R - R_{ст})\sqrt{2}}{2}$

⁴ $R_2 \text{ рот} = \sqrt{2(R - R_{ст})}$

6. Определение индуктивного и активного сопротивления нулевой последовательности стационарным методом

Схема замера	Результаты замеров			$Z_0, \text{ом}$	R_0		$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$	
	$I, \text{а}$	$U, \text{в}$	$P, \text{вт}$		ом	$\%$	ом	$\%$
Фазы соединены последовательно и параллельно								

7. Проверка термодетекторов

№ п/п	Место закладки термодетектора (медь, железо, N паза и т. д.)	Сопротивление изоляции, $M\Omega$	Сопротивление постоянному току, ом	№ п/п	Место закладки термодетектора (медь, железо, N паза и т. д.)	Сопротивление изоляции, $M\Omega$	Сопротивление постоянному току, ом
1				13			
2				14			
3				15			
4				16			
5				17			
6				18			
7				19			
8				20			
9				21			
10				22			
11				23			
12				24			

Температура при опыте _____ °С

8. Дополнительные измерения

Примечание.

Заключение

Контрольные приборы

№ п/п	Наименование	Шкала	Класс	Заводской номер	№ п/п	Наименование	Шкала	Класс	Заводской номер

Испытание произвели: _____ Протокол проверил: _____

ПРОТОКОЛ № _____

ИСПЫТАНИЯ МАШИНЫ
ПОСТОЯННОГО ТОКА

(станция, подстанция, предприятие)

(назначение машины)

Дата испытания _____ 196__ г.

1. Паспортные данные

Завод (фирма)	Тип	Мощность, квт	Напряжение, в	Ток, а	Обороты в 1 мин
Возбуждение	Заводской №	Реостат			
		Завод	Тип	Заводской №	

2. Схема обмоток и обозначение выводов

3. Измерение сопротивления постоянному току между коллекторными пластинами

Измерены сопротивления между всеми соседними коллекторными пластинами

Максимальное значение сопротивления _____ Ом

Минимальное значение сопротивления _____ Ом

Наибольшее отклонение в процентах от минимального значения

4. Испытание изоляции

Испытуемый элемент		Обмотки возбуждения			Дополнительные полюса	Обмотка якоря	Бандажи	Реостат
Сопротивление изоляции, <i>Мом</i>	Относительно корпуса							
	Между обмотками							
	Температура, °С							
Испытание повышенным напряжением промышленной частоты	Испытательное напряжение, <i>кв</i>							
		Продолжительность испытания						

5. Измерение сопротивления обмоток постоянному току

Проверяемый элемент		Обмотки возбуждения			Дополнительные полюса	Реостат (полное сопротивление)
Сопротивление, <i>ом</i>	При температуре измерения _____ °С					
	Приведенное к _____ °С					

Испытание произвели: _____

Протокол проверил: _____

ПРОТОКОЛ № _____
 проверки изоляции
 подшипников и маслопро-
 водов

_____ объект

 наименование машины
 " _____ " _____ 196 г.

1. Паспортные данные машины

Завод	Тип	Мощность	Напряжение (кв)	Заводской номер

2. Испытание стяжных болтов активной стали генератора

Схема расположения и нумерация болтов	№ болтов по схеме	Сопротивление изоляции (Мгом)	№ болтов по схеме	Сопротивление изоляции (Мгом)	№ болтов по схеме	Сопротивление изоляции (Мгом)	№ болтов по схеме	Сопротивление изоляции (Мгом)	Испытание напряжением 1 кв переменного тока в течение 1 мин
									болты № выдержали, болты № не выдержали

3. Измерение сопротивления изоляции подshipников и маслопроводов

Номер изоляции по эскизу	Поэлементно		При полностью собранных элементах	
	Проверяемый элемент	Сопротивление изоляции (Мгом)	Проверяемый элемент	Сопротивление изоляции (Мгом)

4. Эскиз расположения изоляции



Пронумеровать места расположения изоляции	Примечание

Контрольные приборы

№ п/п.	Наименование	Шкала	Класс	Заводской номер

Заключение

Испытание произвели: _____

Протокол проверил: _____

ЛИТЕРАТУРА

1. Вульман Г. Л., Эксплуатация генераторов на электростанциях, Госэнергоиздат, 1959.
 2. Министерство электростанций СССР, Техуправление, Объем и нормы испытаний электрооборудования, Госэнергоиздат, 1957.
 3. Министерство электростанций СССР, Техуправление, Инструкция по сушке синхронных генераторов и компенсаторов в неподвижном состоянии, Госэнергоиздат, 1953.
 4. Лобанов В. Н. и др., Электромеханик сельских установок, Всесоюзное учебно-педагогическое издательство «Трудрезервиздат», 1954.
 5. Грудинский П. Г., Сафразбекян Г. С. и Смирнов Л. А., Техническая эксплуатация электрической части станций и подстанций, Госэнергоиздат, 1960.
 6. Алексеев А. Е., Конструкция электрических машин, Госэнергоиздат, 1958.
 7. Сыромятников И. А., Вопросы эксплуатации синхронных генераторов, Госэнергоиздат, 1948.
 8. Министерство электростанций СССР, Техуправление, Основные положения по ревизии и испытаниям при монтаже электрических машин и трансформаторов, Госэнергоиздат, 1949.
 9. Гемке Р. Г., Неисправности электрических машин, Госэнергоиздат, 1960.
 10. Тун А. Я. и Иванов А. О., Наладка электрических аппаратов и машин в схемах электропривода, Госэнергоиздат, 1958.
-

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Вышли из печати

- Чернев К. К., Обслуживание распределительных устройств высокого напряжения (выпуск 47).
- Плетнев Л. Ф., Реле прямого действия, их наладка и проверка (выпуск 48).
- Слонский В. В., Электродуговая сварка алюминиевых шинопроводов переменным током (выпуск 49).
- Белов Г. В., Монтаж токопроводов из шин коробчатого сечения (выпуск 50).
- Жуков Е. П., Монтаж проводов вторичной коммутации (выпуск 51).
- Иевлев В. И. и Рябцев Ю. И., Монтаж трансформаторов напряжением 500 кв (выпуск 52).
- Гуреев И. А., Комплектные шинопроводы цеховых электрических сетей (выпуск 53).
- Севастьянов М. И., Прокладка кабелей напряжением до 35 кв в промышленных и гражданских зданиях (выпуск 54).
- Шувалов К. И., Простейшие схемы автоматического управления электроприводами (выпуск 55).
- Клюев С. А., Осветительные сети производственных помещений (выпуск 56).
- Ашкенази Г. И. и Холмянский Р. М., Электрооборудование театральнo-зрелищных зданий (выпуск 57).
- Иевлев В. И. и Склярoв П. В., Из опыта монтажа силовых трансформаторов напряжением 110—220 кв (выпуск 58).
- Фридкин И. А., Прокладка кабельных линий в земле (выпуск 59).
- Гомберг А. Е., Измеритель заземления (выпуск 60).
- Демчев В. И. и Царьков В. М., Проекторное освещение (выпуск 61).
- Минин Г. П., Измерение мощности (выпуск 62).
- Каетанович М. М., Как работают провода, изоляторы и арматура линий электропередачи (выпуск 63).
- Злобин Б. В., Испытания силовых трансформаторов при монтаже (выпуск 64).
- Рубо Л. Г., Изоляционные лаки и их применение (выпуск 65).
-
-