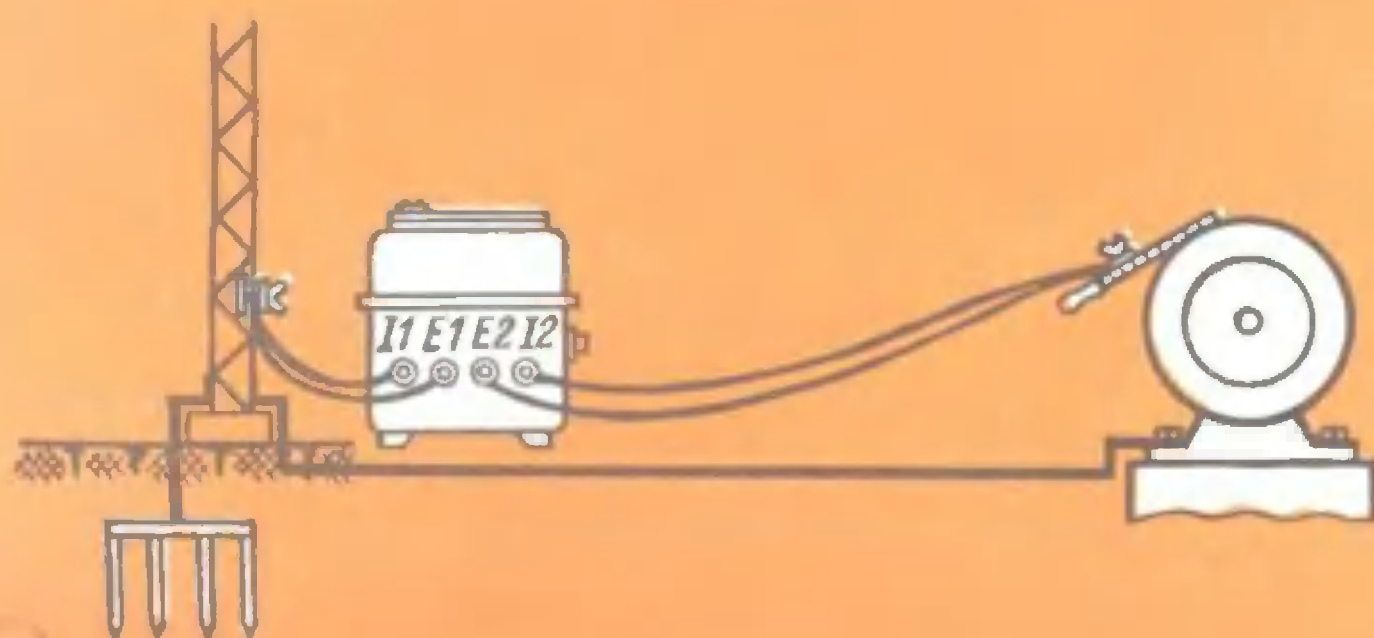




БИБЛИОТЕКА
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

9934
10 702



Э. С. МУСАЭЛЯН

КАК ОЦЕНИТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ ВКЛЮЧЕНИЯ В РАБОТУ НОВОГО ЭЛЕКТРО- ОБОРУДОВАНИЯ





БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 644

Основана в 1959 году

Э. С. МУСАЭЛЯН

КАК ОЦЕНИТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ ВКЛЮЧЕНИЯ В РАБОТУ НОВОГО ЭЛЕКТРО- ОБОРУДОВАНИЯ



МОСКВА
ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ
1994

Копия для Э. С. Музаэлян

ББК 31.277.1

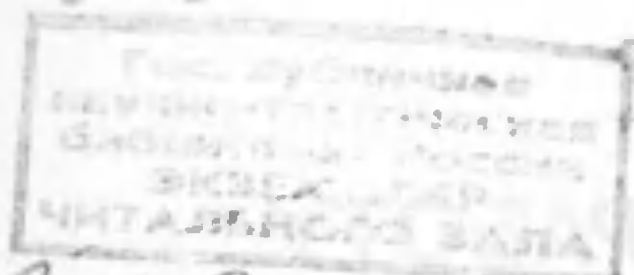
М91

УДК 621.311.2.002.5

Редакционная коллегия серии:

В. Н. Андриевский, С. А. Бажанов, М. С. Бернер, Л. Б. Годгельф, В. Х. Ишкин, Д. Т. Комаров, В. Н. Кудрявцев, В. П. Ларионов, Э. С. Мусаэлян, С. П. Розанов, В. А. Семенов, А. Д. Смирнов, А. Н. Трифонов, А. А. Филатов, А. Н. Щепеткин

Рецензент А. Д. Герр



ИС 94-14365

М
69
4644

Мусаэлян Э. С.

М91 Как оценить возможность включения в работу нового электрооборудования. — М.: Энергоатомиздат, 1994. — 208 с.: ил. — (Б-ка электромонтера; Вып. 644)

ISBN 5-283-01199-9

Рассматриваются методы, применяемые на электростанциях и подстанциях, для оценки состояния нового электрооборудования перед вводом его в эксплуатацию и методы выявления его дефектов. Описание проверок, измерений и испытаний увязано с конструктивными особенностями электрооборудования. Учтена возможность использования изложенных методов не только для рассматриваемого, но и для аналогичного оборудования.

Для электромонтеров, занятых монтажом, наладкой и эксплуатацией новых энергетических объектов.

М 2202080000-032 48-92
051(01)-94

ББК 31.277.1

ISBN 5-283-01199-9

© Автор, 1994

ПРЕДИСЛОВИЕ

Прежде чем включить новое электрооборудование в работу, необходимо убедиться в его полной исправности и в полном соответствии его технических данных требуемым по условиям работы. Требования учитываются проектом, а состояние электрооборудования определяется персоналом, которому предстоит эксплуатировать его, или по договорам с дирекциями — специализированными наладочными организациями.

Книга, предлагаемая читателю, посвящается следующим вопросам: как оценить состояние электрооборудования электростанций и подстанций, исправно ли оно или имеет дефекты, как выявить последние и из каких предпосылок и требований исходить при оценке.

Вопросы, освещаемые в книге, важны тем, что от правильности и качества оценки состояния и выявления дефектов зависит качество работы электростанций или подстанций, являющихся важным звеном в народном хозяйстве, от которого в свою очередь зависит успешная работа всех отраслей промышленности, сельского и коммунального хозяйства.

В книге за основу принято электрооборудование тепловых электростанций и подстанций, но сведения, которые в ней приводятся, распространяются и на аналогичное электрооборудование других видов электростанций — атомных (АЭС), гидравлических (ГЭС, ГАЭС), дизельных (ДЭС), солнечных (СЭС), геотермальных (ГЭОТЭС), приливных (ПЭС) и ветряных (ВЭС).

Некоторые излагаемые методы оценки состояния электрооборудования могут быть использованы и для проверки, выявления дефектов некоторых электроприборов, применяемых в быту.

В книге используется опыт, накопленный десятками лет в организациях Минэнерго СССР, занимающихся наладкой и испытаниями электрооборудования электростанций и подстанций. В качестве основных нормативных документов при изложении материала приняты «Нормы испытания электрооборудования» и «Правила устройств электроустановок» Минэнерго СССР.

Автор выражает благодарность рецензенту А. Д. Герру, сделавшему весьма ценные замечания в рукописи книги, и просит все замечания направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Автор

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Основные узлы, имеющие общее назначение в различных видах электрооборудования

Электрооборудование электростанций и подстанций весьма разнообразно по своей номенклатуре. Однако, несмотря на различие по назначению и даже принципу действия, оно имеет общие конструктивные элементы, определяющие общие дефекты и общий подход к методам оценки состояния его.

На рис. 1 показан синхронный генератор. Как известно, синхронный генератор служит на электростанции для преобразования энергии первичного двигателя (в данном случае паровой турбины) в электрическую. Основные его конструктивные элементы — корпус со статором, набираемым из отдельных листов электротехнической стали и представляющим собой магнитопровод, ротор, обмотки (статора и ротора) и выводы их, которые конструктивно представляют собой медные стержни и изоляцию.

Кроме того, генератор обеспечивается системами охлаждения для поддержания температуры обмоток в допустимых пределах, возбуждения для питания обмотки ротора током и гашения поля для быстрого развозбуждения генератора (гашения поля его) в аварийных режимах.

На рис. 1 показан также возбудитель — основной элемент системы возбуждения. Основными конструктивными элементами его являются также корпус, статор, ротор, обмотки, выводы, изоляция. В отличие от генератора возбудитель, являющийся машиной постоянного тока, имеет еще и коллектор, служащий для преобразования переменного тока машины в постоянный. Коллектор является важным общим элементом всех машин постоянного тока.

На рис. 2, а дана конструкция асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, широко используемого в качестве электропривода в механизмах собст-

венных нужд электростанции, а на рис. 2, б и в показан принцип образования вращающегося магнитного поля трехфазным током, заставляющего ротор вращаться в направлении вращения магнитного поля.

Физический смысл принципа действия асинхронной электрической машины достаточно популярно изложен в [3]. Здесь же важно отметить и на этом примере общность конструктивных элементов различных видов электрических машин, используемых на электростанциях в широком ассортименте. Как и в предыдущем случае, основными элементами являются корпус, статор, ротор, обмотки, выводы их, изоляция, медные стержни токоведущих частей.

На рис. 3 изображен силовой трансформатор, служащий для повышения генераторного напряжения до уровня, на котором устанавливаются связи между отдельными электростанциями и энергетическими системами, и понижения его для возможности питания электроэнергией потребителя.

Как видно из рисунка, основными конструктивными элементами силовых трансформаторов являются также корпус, магнитопровод, токоведущие части, включая обмотки и выводы, их изоляция. Специфичным конструктивным узлом силовых трансформаторов является устройство переключения отпаяк обмоток, служащее для необходимого в условиях эксплуатации изменения коэффициента трансформации.

На рис. 4—8 показаны измерительные трансформаторы напряжения и тока. Первые служат для понижения напряжения, а вторые — для понижения тока электроустановки до значений, позволяющих использовать электроизмерительные приборы и реле, с помощью которых осуществляется защита электроустановок от повреждений и контроль за их работой в условиях безопасности обслуживания реле и приборов.

Как видно из этих рисунков, измерительные трансформаторы принципиально не отличаются от силовых. Так же как и у последних, основными конструктивными элементами являются корпус, магнитопровод, обмотки первичные и вторичные.

На электростанциях и подстанциях, кроме рассмотренной, широко используется разнообразная коммутационная аппаратура, служащая для включения в работу и отключения (нормального и аварийного) электрооборудо-

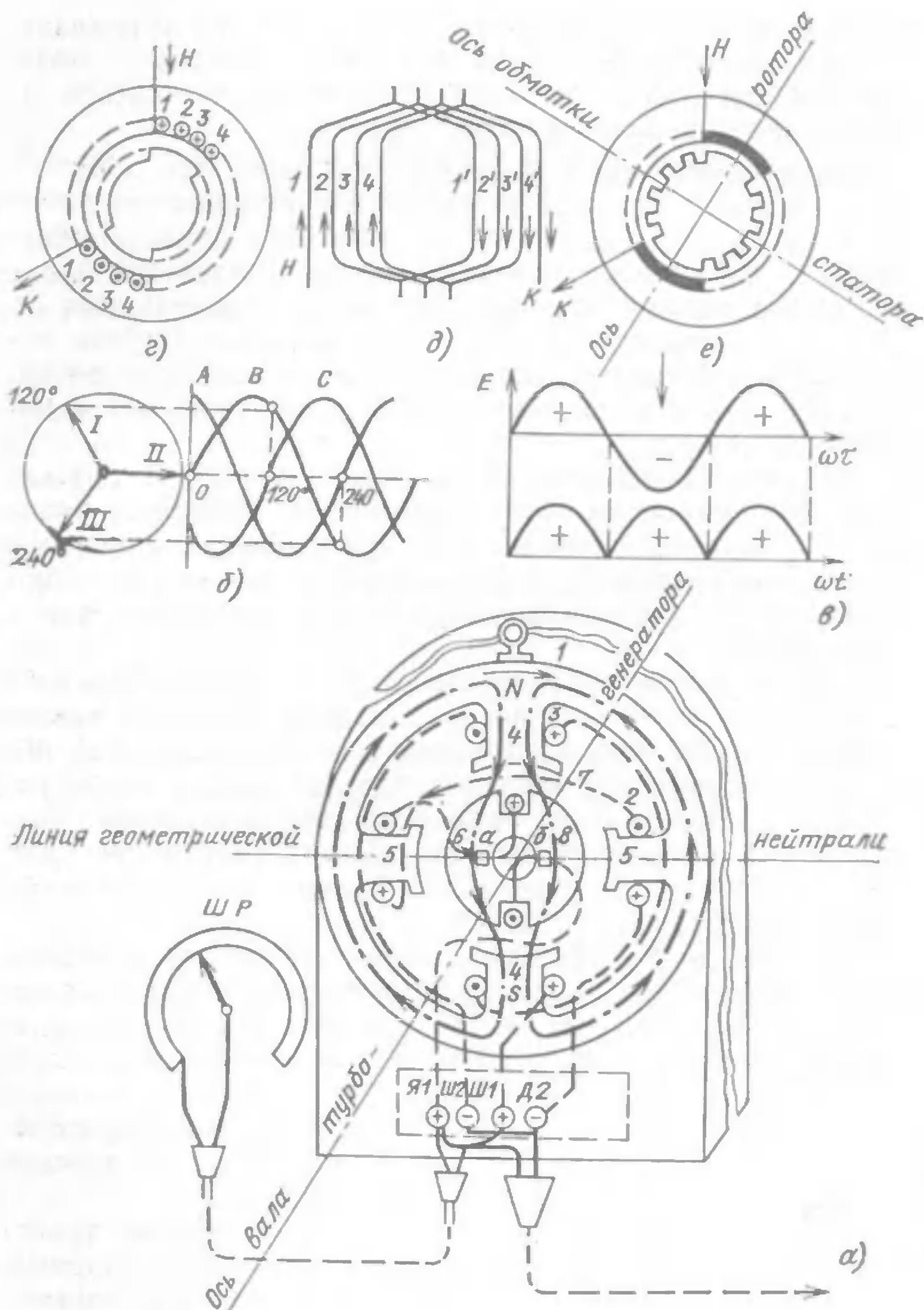
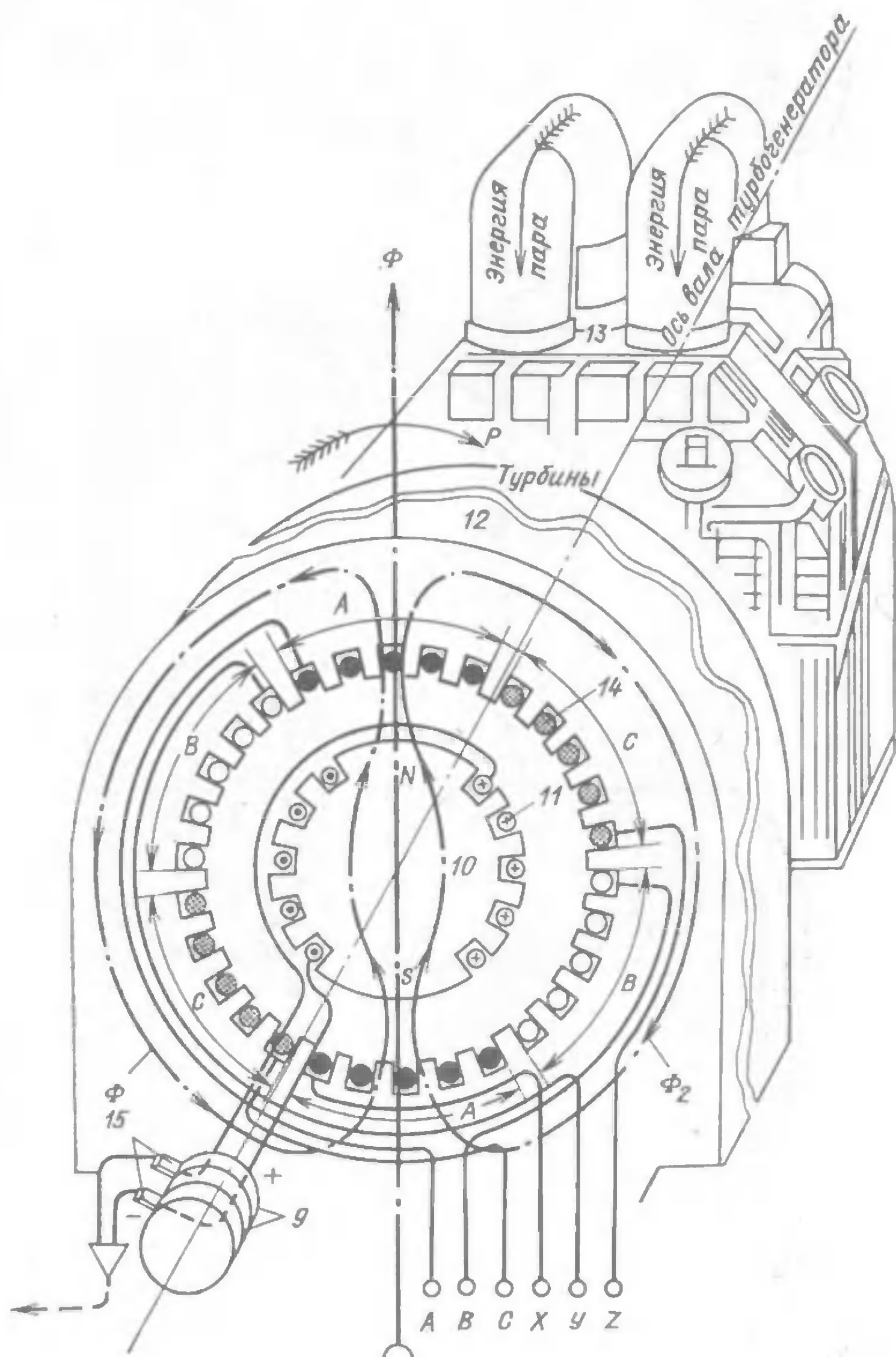


Рис. 1. Схематический рисунок турбоагрегата с синхронным генера
 а — турбогенератор с возбудителем; б — образование ЭДС в обмотках статора; в — образование ЭДС в обмотках статора; г — конструктивное выполнение обмоток статора; 1 — станина возбудителя; 2 — станина возбудителя (шунтовая); 3 — основные полюсы магнитопровода; 4 — якорь возбудителя; 5 — обмотка якоря возбудителя; 6 — щетки; 7 — статор генератора; 8 — турбина; 9 — обмотка статора; 10 — щетки



тором и возбудителем:

ра; в — образование пульсирующего напряжения на щетках якоря возбудителя; 2 — обмотка дополнительных полюсов возбудителя; 3 — основная обмотка возбудителя; 5 — дополнительные полюсы магнитопровода возбудителя; 9 — кольца ротора; 10 — ротор генератора; 11 — обмотка ротора; 1, II, III — векторы напряжения фаз обмоток (A, B, C)

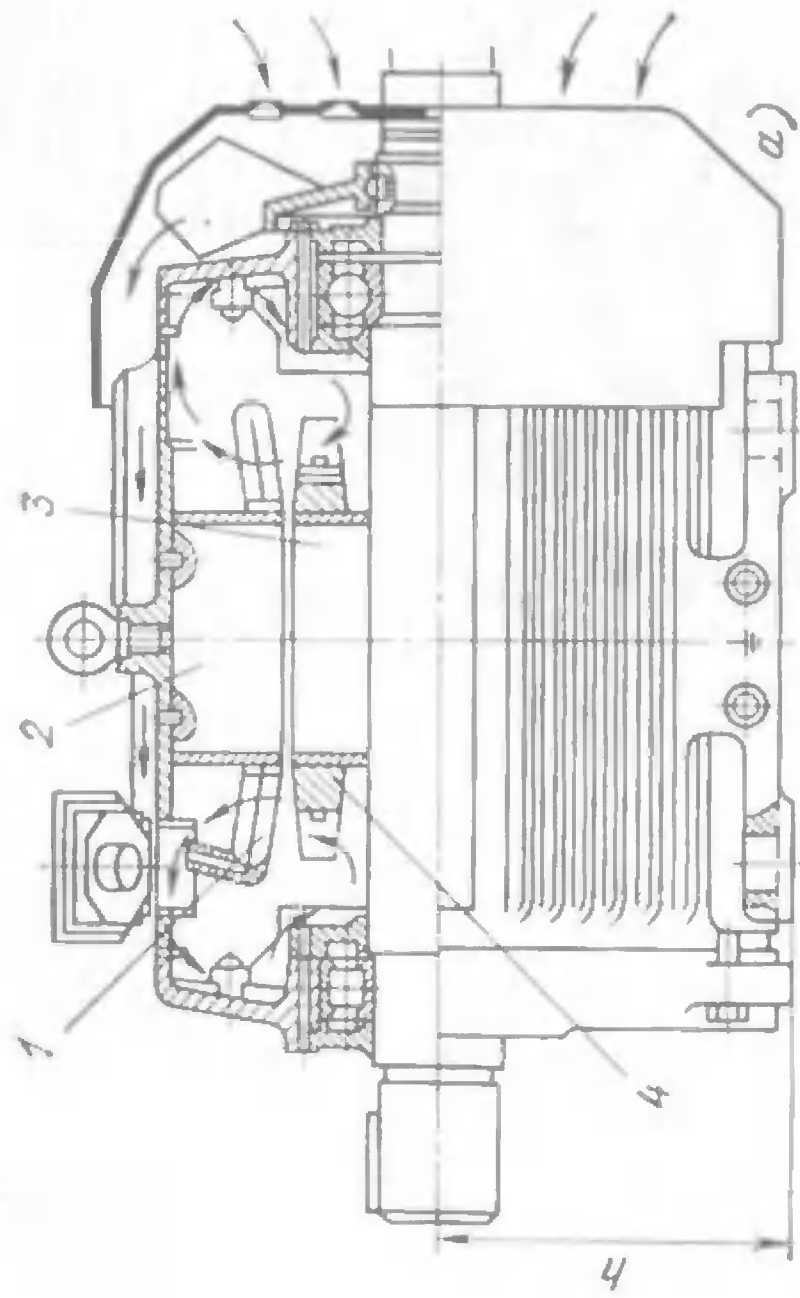
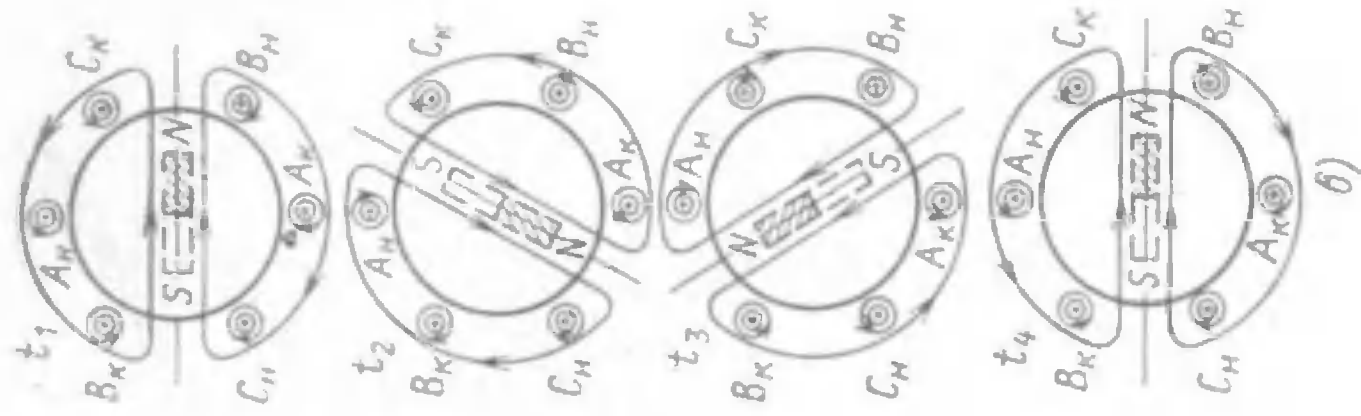
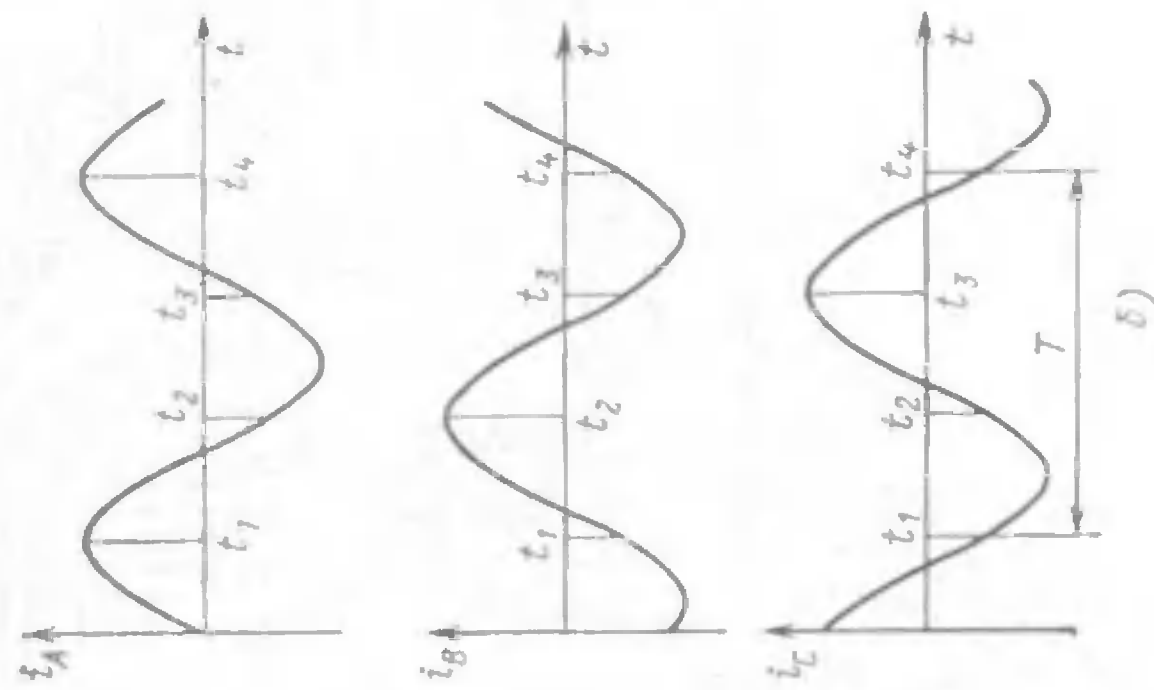


Рис. 2. Пример конструкции асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором и принцип образования вращающегося магнитного поля трехфазным током:

а — конструкция электродвигателя серии 4А; б — изменение фазных токов во времени; в — магнитное поле в разные моменты времени; 1 — обмотка статора; 2 — сердечник статора; 3 — сердечник ротора; 4 — обмотка ротора; t_1-t_4 — моменты времени, в которые ток в обмотках статора достигает максимального значения в фазе А, затем в фазе В, затем в фазе С, снова в фазе А и т. д.; индексы «н» и «к» — начала и концы обмоток статора; T — период времени, за который вращающееся магнитное поле поворачивается в пространстве на полный оборот, т. е. на 360°



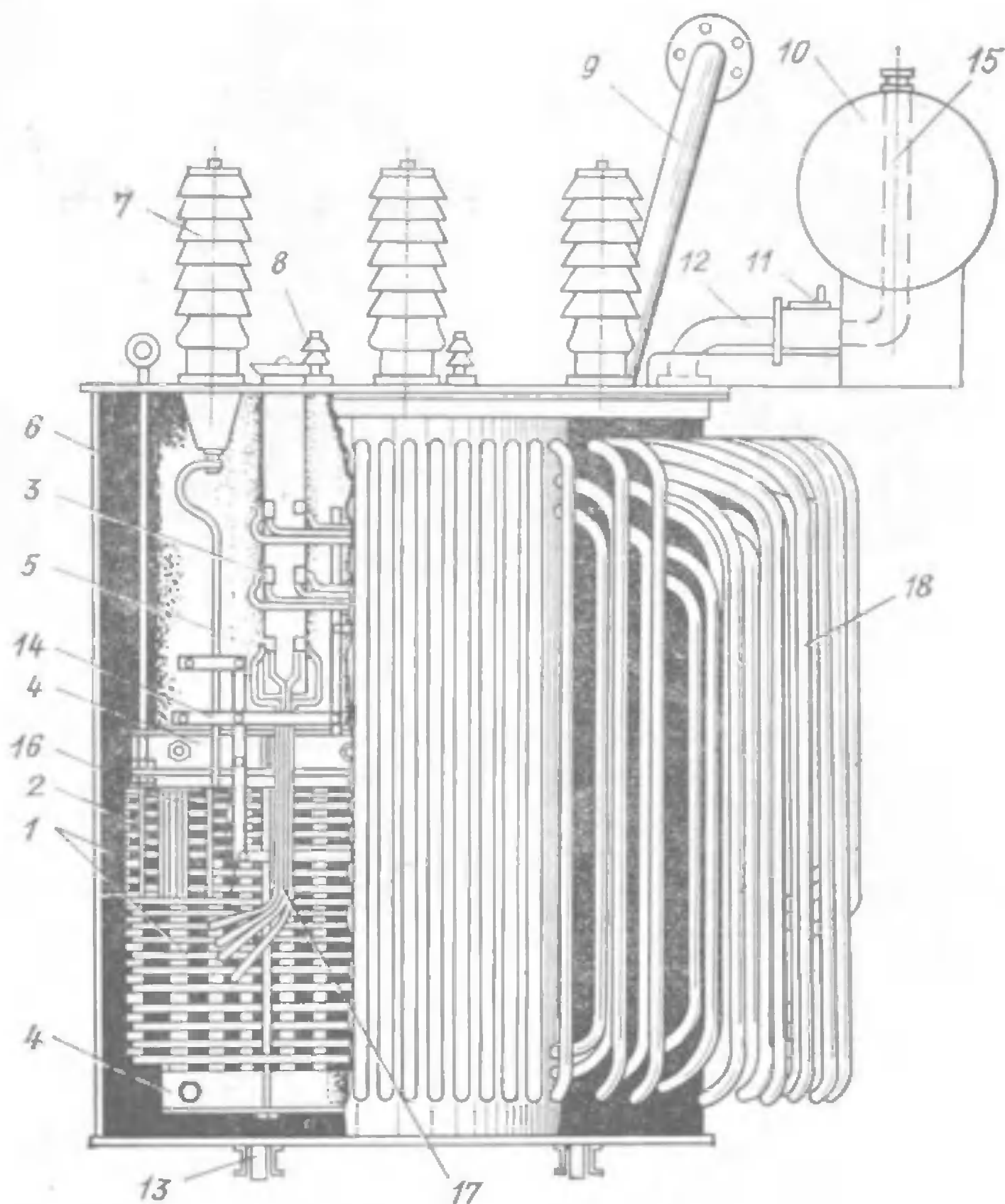


Рис. 3. Трехфазный трансформатор с трубчатым баком:

1 — обмотка ВН; 2 — обмотка НН; 3 — переключатель ответвлений обмотки НН; 4 — ярмовая балка; 5 — линейный отвод обмотки ВН; 6 — бак; 7 — ввод ВН; 8 — ввод НН; 9 — выхлопная труба; 10 — расширитель; 11 — газовое реле; 12 — маслопровод; 13 — каток тележки; 14 — деревянная планка; 15 — указатель уровня масла; 16 — магнитопровод; 17 — регулировочные ответвления; 18 — охлаждающие трубы

вания и электроустановок. К этой группе электрооборудования относятся различные неавтоматические выключатели и рубильники, предназначенные для ручного включения и отключения электрических цепей напряжением до 1 кВ, автоматические выключатели, предназначенные для дистанционного включения и аварийного отключения электрических цепей до 1 кВ, контакторы и

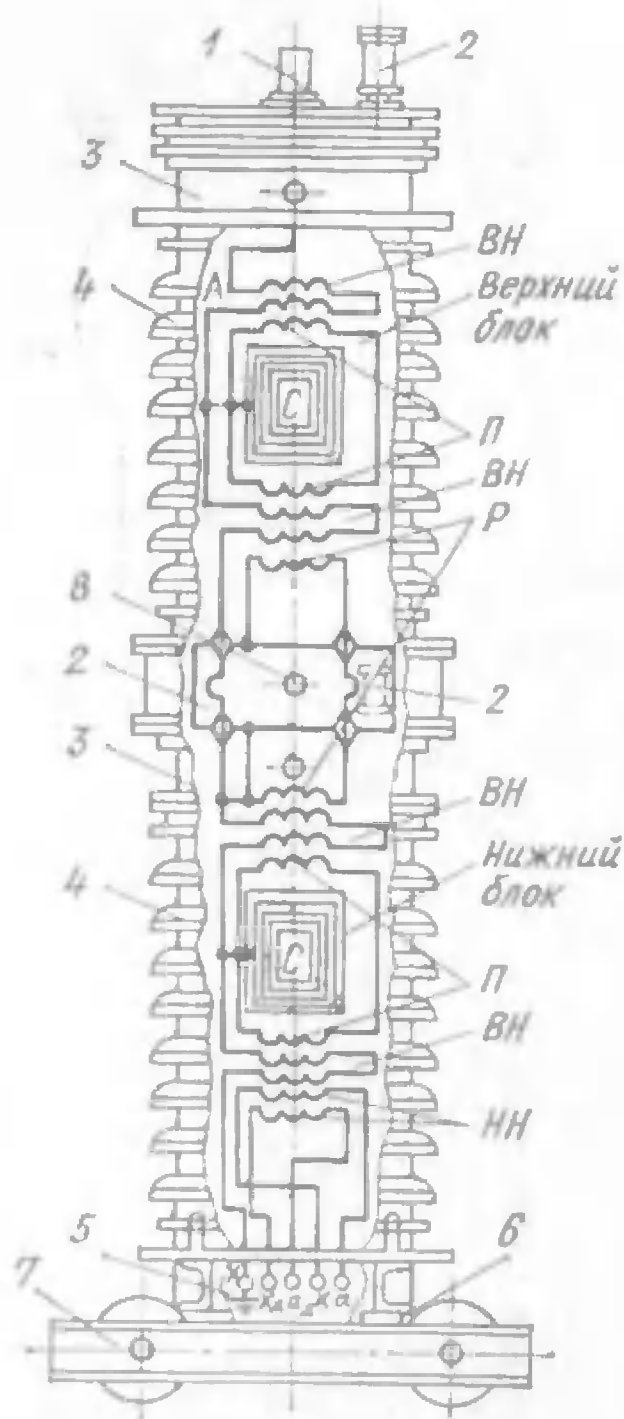


Рис. 4. Каскадный трансформатор напряжения однофазный типа НКФ-220:

1 — ввод ВН; 2 — влагопоглотитель; 3 — расширители верхнего и нижнего блока; 4 — фарфоровая покрывка; 5 — коробка выводов вторичных обмоток; 6 — болт для заземления; 7 — тележка; 8 — кран для слива масла; ВН — первичная обмотка (высоко напряжения); НН — вторичная обмотка (низкого напряжения); С — сердечник; Р — связующие обмотки; П — выравнивающие обмотки; А, Х — зажимы первичных обмоток; а, х — зажимы основной вторичной обмотки; а_д, х_д — зажимы дополнительной вторичной обмотки

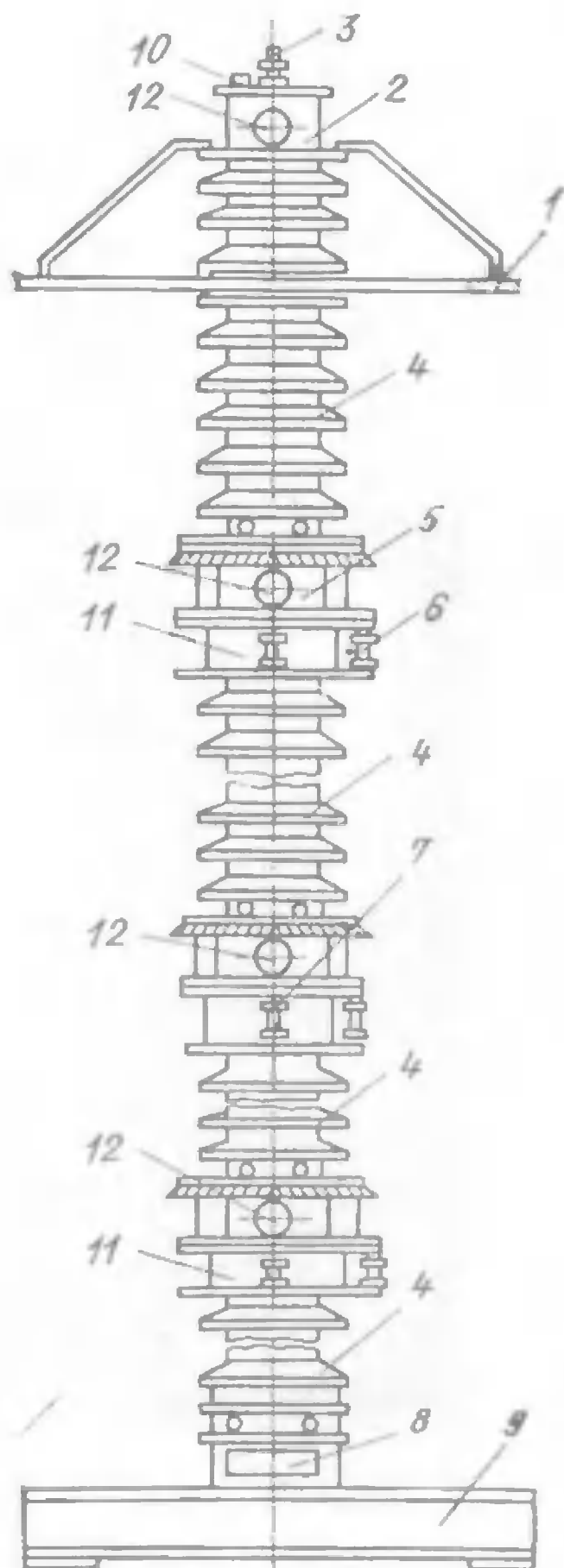


Рис. 5. Измерительный трансформатор напряжения типа НКФ-500:

1 — кран; 2 — расширитель масла; 3 — вывод высокого напряжения (ВН); 4 — блоки каскада; 5 — соединительная перемычка между блоками каскада; 6 — влагопоглотитель; 7 — маслоуказатель; 8 — коробка выводов низкого напряжения (НН); 9 — основание каскада; 10 — фланец для вакуумирования; 11 — маслорасширитель; 12 — маслоуказатель

пускатели напряжением также до 1 кВ, масляные и воздушные выключатели высокого напряжения, служащие для включения и отключения токов нагрузки и коротко-

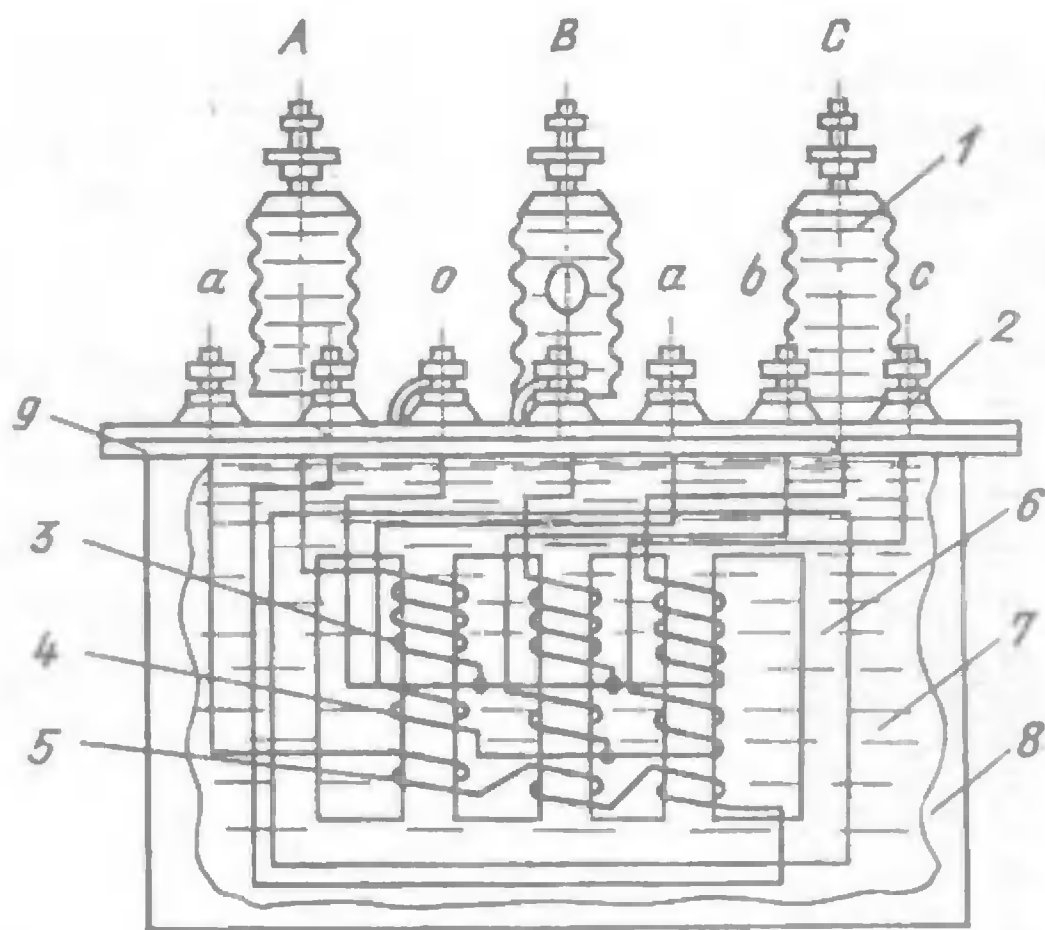


Рис. 6. Измерительный трансформатор напряжения типа НТМИ-10:

1 — вводы высокого напряжения, 2 — вводы низкого напряжения; 3 — обмотка высокого напряжения; 4 — обмотка низкого напряжения, собранная в схему «звезда»; 5 — то же, собранная в схему «открытый треугольник»; 6 — сердечник трансформатора; 7 — трансформаторное масло; 8 — бак трансформатора; 9 — крышка трансформатора

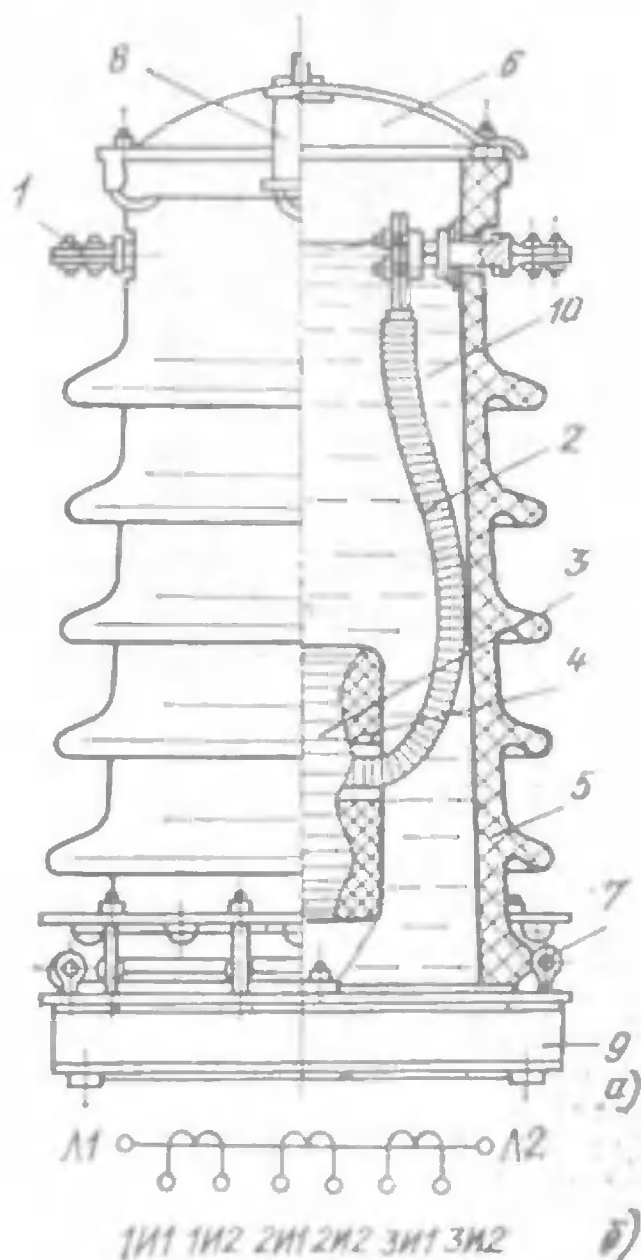


Рис. 7. Трансформатор тока 35 кВ:

а — конструкция; б — схема электрических соединений; 1 — выводы первичной обмотки; 2 — первичная обмотка; 3 — вторичная обмотка; 4 — магнитопровод; 5 — фарфоровый корпус; 6 — крышка корпуса; 7 — подъемное кольцо; 8 — воздухоочистительный корпус; 9 — основание трансформатора тока; 10 — изоляционное масло; Л1, Л2 — выводы первичной обмотки; 1Н1, 1Н2—3Н1, 3Н2 — выводы вторичных обмоток

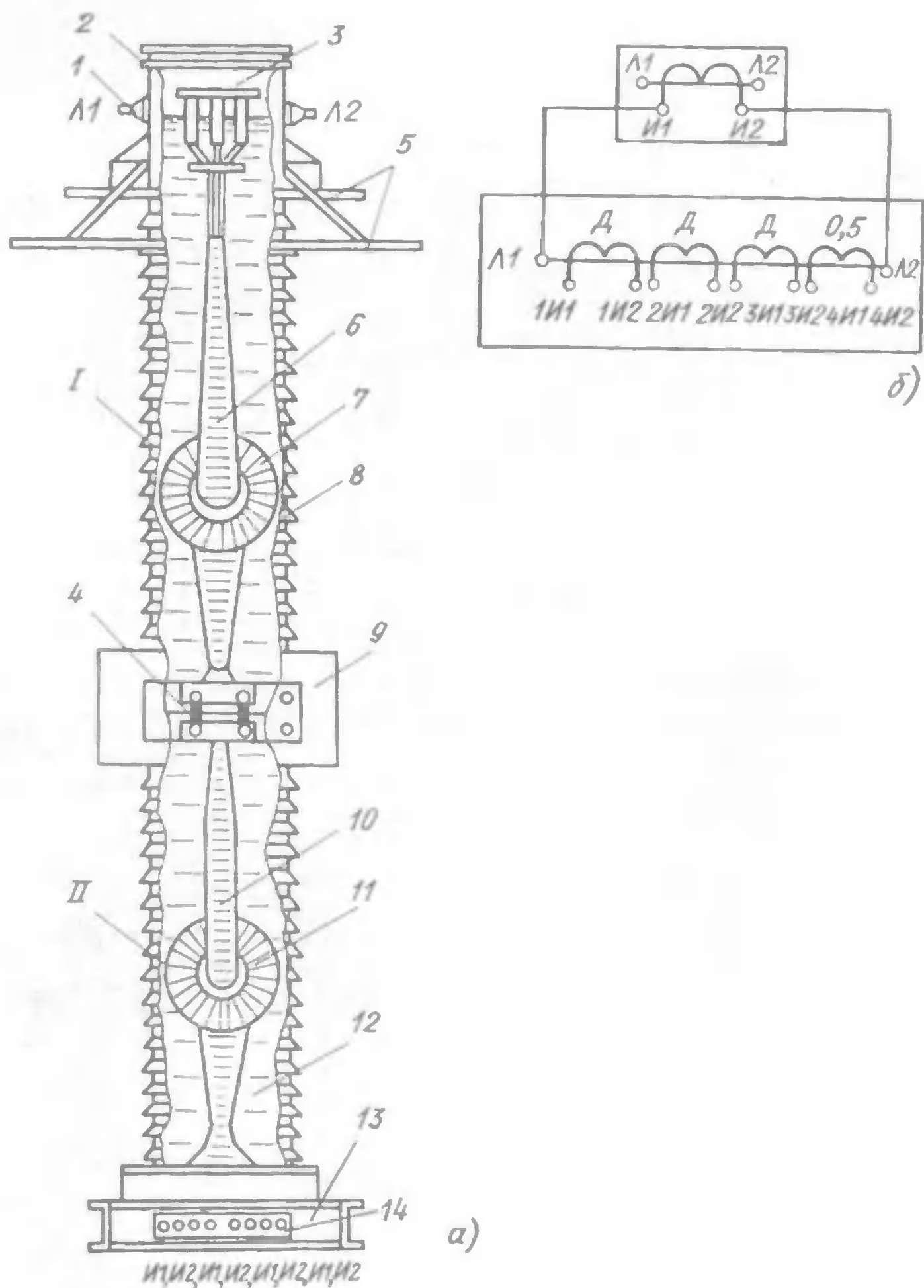


Рис. 8. Каскадный трансформатор тока типа ТФНКД-220:

а — конструкция; б — схема электрических соединений; 1 — выводы первичной обмотки; 2 — переключатель, позволяющий изменять $K_{\text{ТТ}}$ на стороне первичной обмотки; 3 — маслорасширитель; 4 — перемычки, соединяющие обмотки I и II ступеней каскада; 5 — кольца экрана; 6 — первичная обмотка ступени I; 7 — сердечник со вторичной обмоткой верхней ступени I каскада; 8 — корпус ТТ; 9 — соединительная часть; 10 — первичная обмотка нижней ступени II каскада; 11 — сердечник со вторичной обмоткой нижней ступени II каскада; 12 — масло; 13 — основание; 14 — коробка выводов вторичных обмоток ТТ; Л1, Л2 — выводы первичных обмоток; И1, И2 — выводы вторичных обмоток; Д, 0,5 — классы сердечника

го замыкания, разъединители и отделители, предназначенные для снятия напряжения с предварительно отключенной электроустановки или оборудования, а также отключения небольших токов, например токов холостого хода силовых трансформаторов (отделители), короткозамыкатели, служащие для создания искусственного КЗ, требующегося для надежной работы устройств релейной защиты.

Коммутационная аппаратура также состоит из корпуса, токоведущих частей, изоляции, но в отличие от выше рассмотренного оборудования для нее характерно наличие привода и кинематического механизма связи привода с контактной системой аппарата, а в выключателях и автоматах — также еще дугогасящих устройств, различающихся в различных типах аппаратов лишь конструктивным выполнением.

Примеры коммутационной аппаратуры представлены на рис. 9—11.

На электростанциях и подстанциях для ограничения токов короткого замыкания применяются бетонные (рис. 12) и масляные (помещаемые в бак, заполненные маслом) реакторы. Реактор представляет собой индуктивную катушку без стального сердечника.

Для защиты электрооборудования от атмосферных и внутренних перенапряжений применяются разрядники, один из которых изображен на рис. 13.

Основными элементами реакторов являются токоведущие части и их изоляция. Основными элементами многочисленных типов разрядников являются фарфоровые покрышки, внутри которых размещаются блоки искровых промежутков и дисков, обладающих нелинейными сопротивлениями для токов импульсов перенапряжений (на рис. 13 показан вилтовый разрядник).

Широко используются в настоящее время на электростанциях комплектные распределительные устройства (РУ, КРУ), представляющие собой комплект из отдельных металлических шкафов различного назначения, поставляемых на место установки полностью готовыми к монтажу.

По назначению шкафы РУ, КРУ подразделяются на: шкафы коммутационные — с шинным отделением, выключателем, разъединителем (в виде втычных контактов) и прочим оборудованием, составляющим с первыми полностью укомплектованную электрическую цепь в схе-

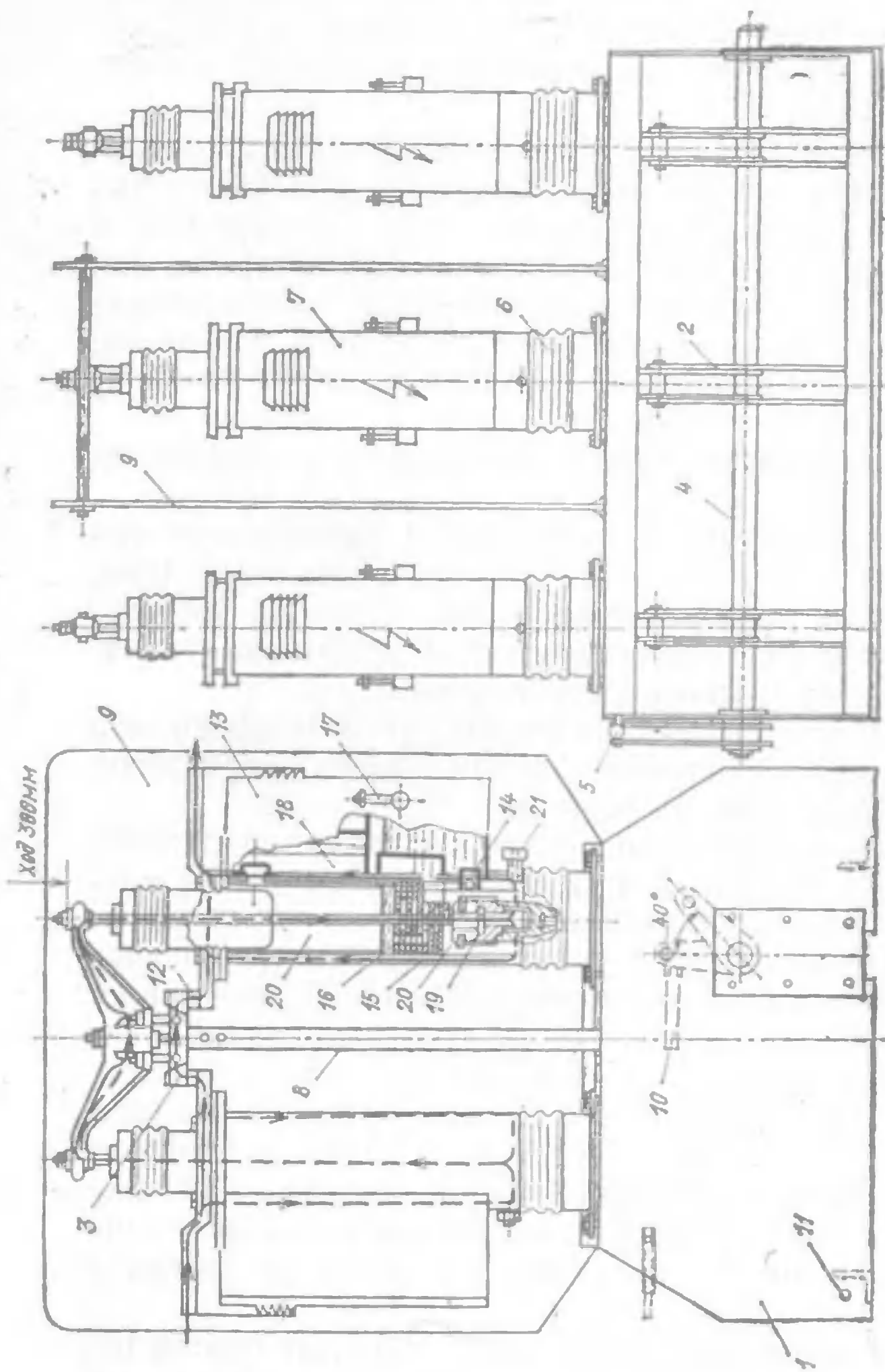


Рис. 9. Общий вид масляного выключателя типа МГ10 с разрезом по одному из цилиндров:

1 — рама; 2 — приводной механизм; 3 — главные подвижные контакты; 4 — вал; 5 — рычаг; 6 — изолятор; 7 — цилиндр; 8 — изолирующая штанга; 9 — изоляционные перегородки; 10 — тяга к приводу; 11 — болт для присоединения заземления; 12 — неподвижный контакт; 13 — дополнительный резервуар; 14 — клапан; 15 — изолирующие цилиндры; 16 — дугогасительная камера; 17 — маслоуказатель; 18 — маслоотделитель; 19 — розеточный контакт; 20 — подкамерное пространство; 21 — маслоспускная пробка; 22 — главные подвижные и неподвижные контакты; 23 — параллельный дугогасительный контур через стенку цилиндра; 24 — дугогасительные контакты и стержень)

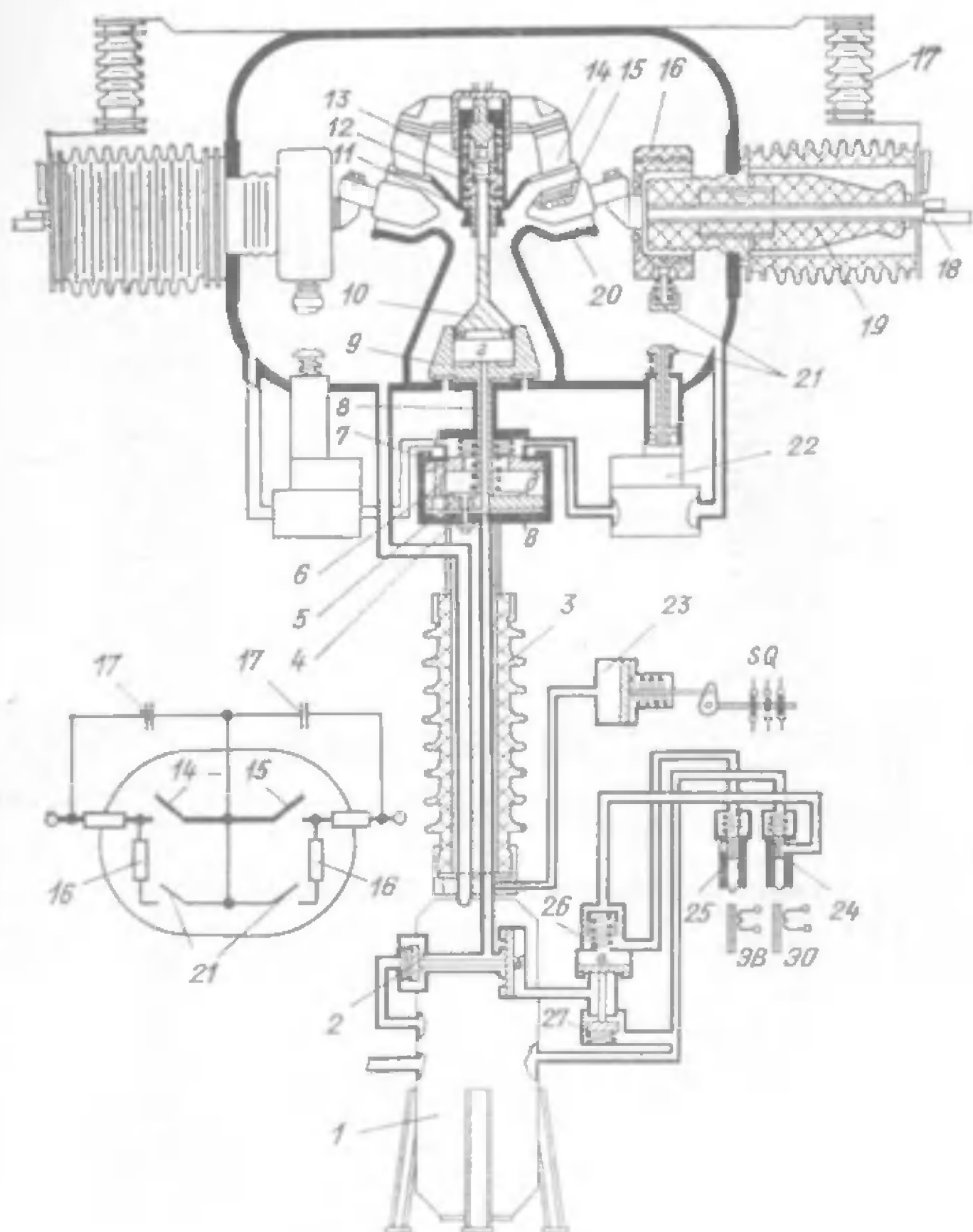


Рис. 10. Электропневматическая и электрическая схема выключателя ВВБ-110:

1 и 2 — основание выключателя (вертикальный резервуар со сжатым воздухом и со шкафом управления); 3 — опорный изолятор; 4—8 — игла, поршень, золотник, шайба, шток промежуточного узла отключения выключателя (сжатым воздухом); 9 — тарелка дутьевого клапана; 10 — траверса; 11 — противоэлектрод, на который перебрасывается электрическая дуга при отключении выключателя; 12 — фиксатор; 13 — шток; 14 — контактные ножи; 15 — неподвижный контакт; 16 — шунтирующий резистор; 17 — емкостный делитель; 18 — вводы; 19 — эпоксидные втулки; 20 — конфузор, экранирующий неподвижные контакты в отключенном положении выключателя; 21 — вспомогательные контакты; 22 — клапан промежуточный; 23 — привод (электропневматический); 24 — пусковой клапан привода (отключения); 25 — пусковой клапан привода (включения); 26 — обратный клапан; 27 — промежуточный клапан; SQ — вспомогательные контакты электропривода

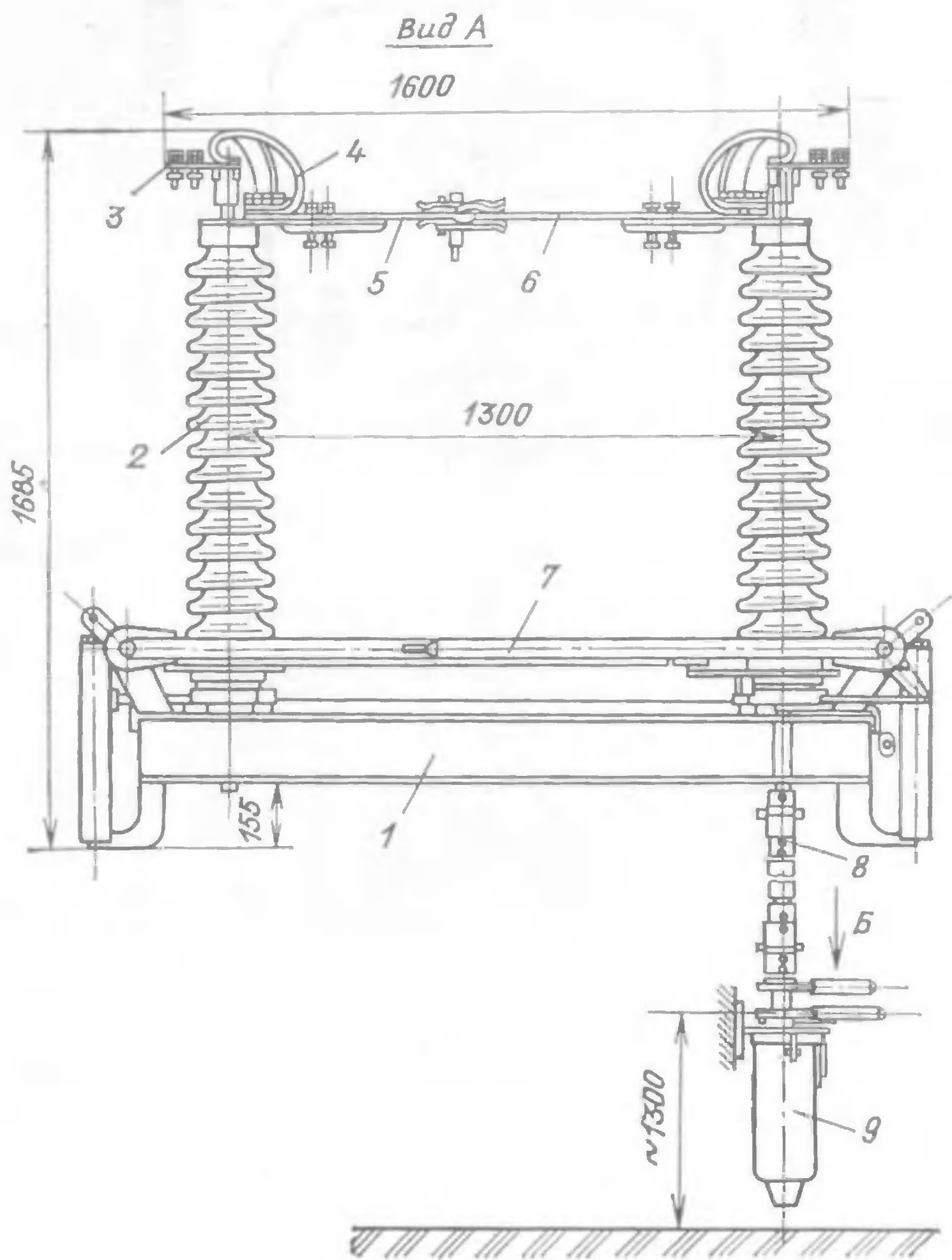


Рис. 11. Разъединитель горизонтально-повторного типа РНДЗ-2-110:
 1 — рама; 2 — опорный изолятор; 3 — наконечник для присоединения шин;
 4 — гибкая связь; 5 и 6 — главные ножи; 7 — заземляющие ножи; 8 — тяга
 к приводу; 9 — привод

ме распределения электрической энергии по потребите-
 лям ее, в том числе собственных нужд электростанции
 (или подстанции);

шкафы защитные с плавкими предохранителями и
 разрядниками;

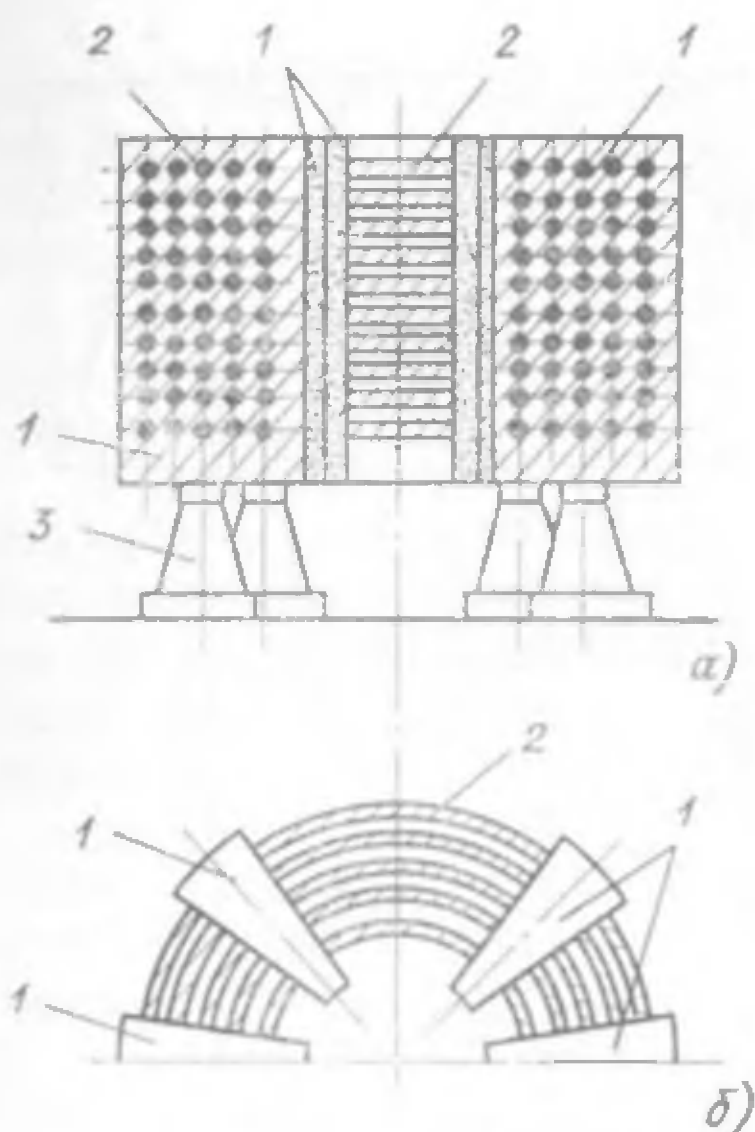
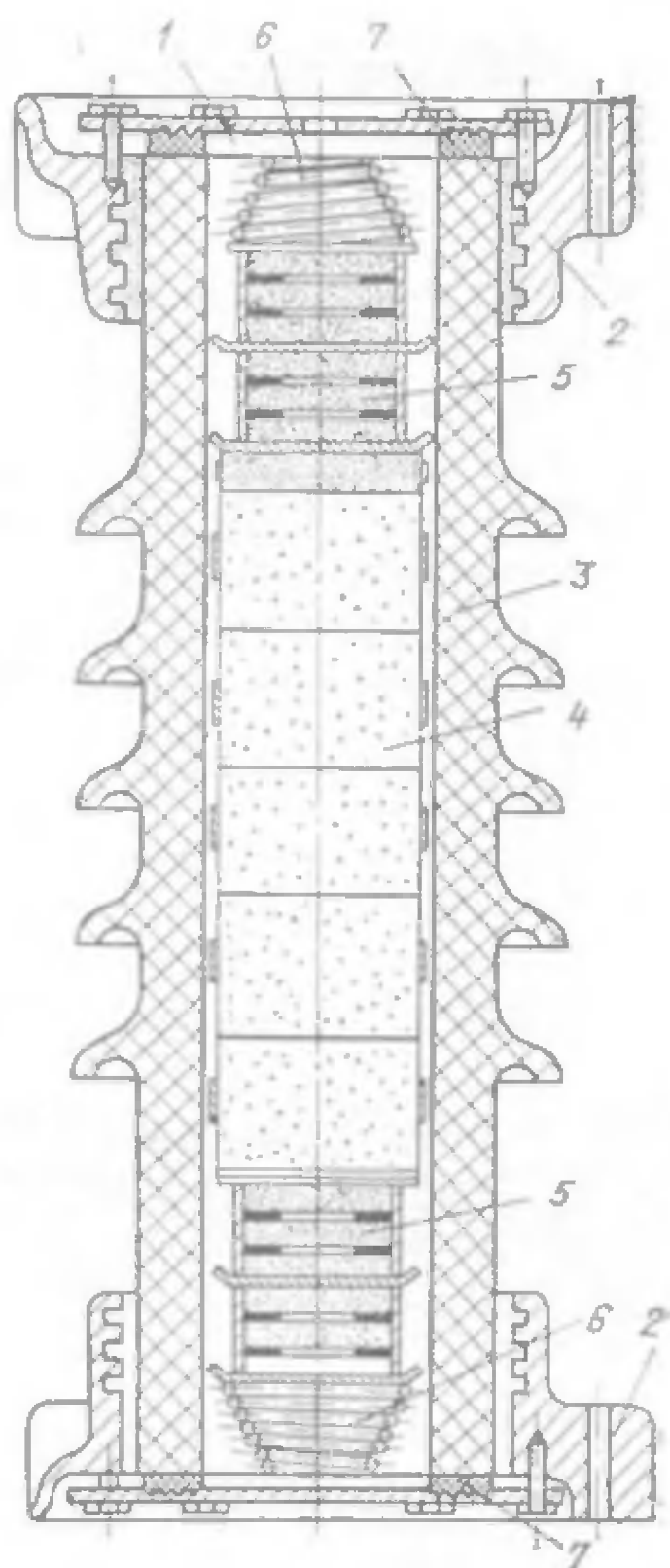


Рис. 12. Бетонный реактор (фаза) в разрезе (а) и в плане (б): 1 — бетонные стойки; 2 — провод; 3 — опорные изоляторы

Рис. 13. Вентильный разрядник типа РВС-15:

1 — латунный диск; 2 — силуминовые фланцы; 3 — фарфоровая крышка; 4 — вилитовые диски; 5 — блоки искровых промежутков; 6 — пружины; 7 — прокладка



шкафы измерительные с измерительными трансформаторами тока и напряжения;

шкафы токоограничивающие с реакторами и резисторами.

Над силовым отделением каждого шкафа располагаются обычно отсеки с аппаратурой релейной защиты, сигнализации, измерений и другие элементы вторичных цепей электроустановок.

Шкафы снабжаются механической блокировкой, обеспечивающей безопасность эксплуатации их.

Общий вид одного из типов КРУ показан на рис. 14.

Поскольку комплектные распределительные устройства комплектуются тем же оборудованием, которое используется при разрозненном применении их на электростанциях и подстанциях, на них распространяется все

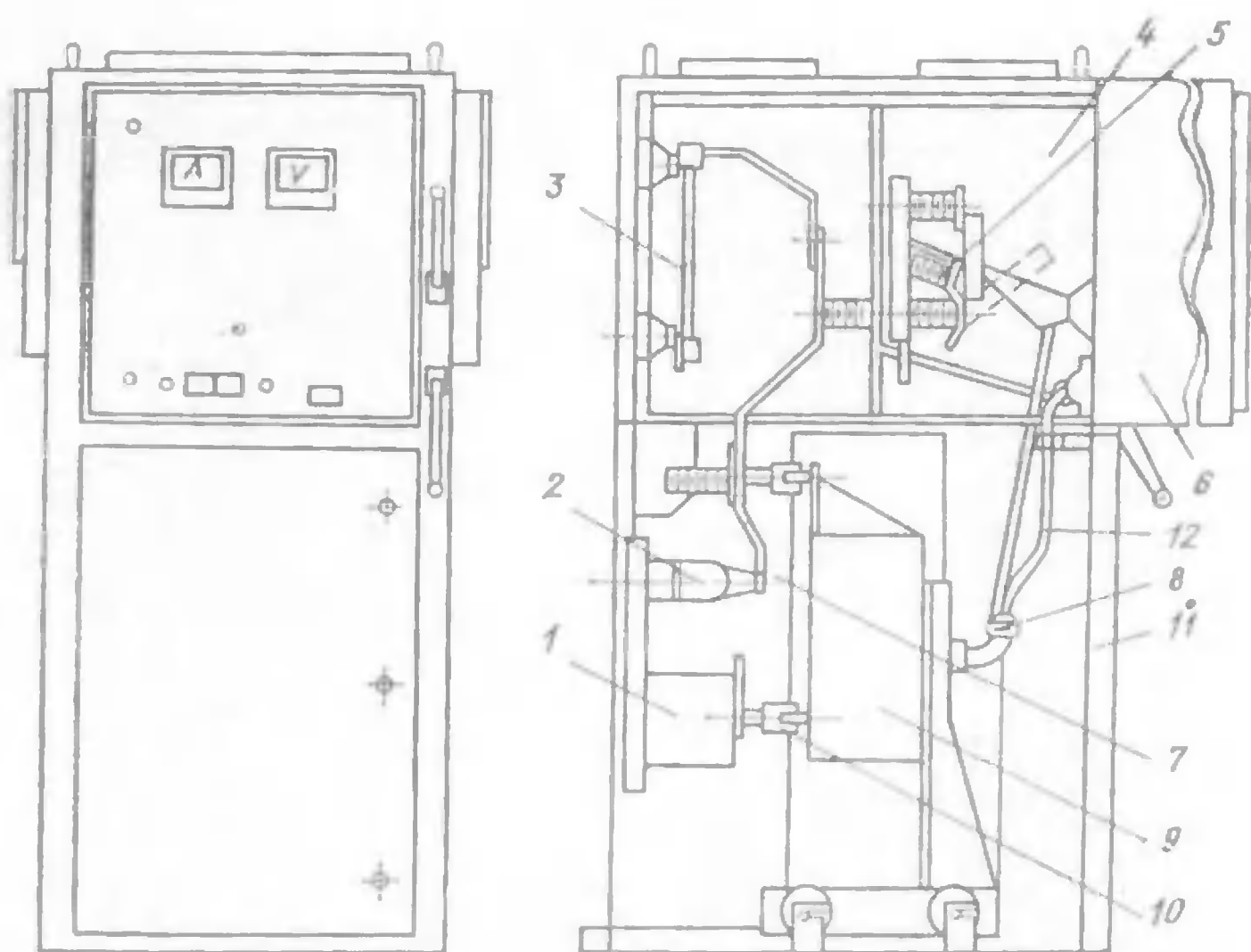


Рис. 14. Общий вид шкафа КРУ типа КРУЭ-10В-400-20:

1 — трансформатор тока; 2 — трансформатор напряжения; 3 — предохранитель; 4 — отсек разъединителя; 5 — разъединитель; 6 — релейный шкаф; 7 — отсек вакуумного выключателя; 8 — штепсельный разъем; 9 — вакуумный выключатель; 10 — розеточный контакт; 11 — дверь шкафа; 12 — шланг с проводами вторичных цепей связи привода выключателя со шкафом управления и релейных защит

сказанное выше об общности конструктивных элементов и их узлов. О некоторых особенностях КРУ говорится ниже в § 6.

Общие дефекты и методы выявления их

При оценке состояния оборудования и возможности включения его в работу необходимо установить отсутствие или наличие дефектов в нем, при наличии последних — выявить их. Как уже говорилось выше, общие конструктивные элементы и узлы определяют и общие дефекты, из которых, как показывает практический опыт, основными являются следующие:

у корпусов — повреждения их в процессе транспортировки и монтажа, дефекты сварных или болтовых соединений, неплотности в стыках, дефекты уплотнений и т. п.;

у обмоток — увлажнение изоляции (имеет место чаще всего в результате длительного и неправильного хра-

нения оборудования); механические повреждения; нарушения междувитковой изоляции, соединений в обмотках, токопроводах и выводах; несоответствие маркировки выводов требованиям ГОСТ;

у устройств переключения силовых трансформаторов — механические повреждения, неправильное соединение отпаяк или неправильная работа переключателя;

у магнитопроводов — замыкания отдельных листов стали между собой, нарушение изоляции стяжных болтов, если они есть, коррозия листов стали, засорение вентиляционных каналов (статоров и роторов электрических машин), слабая затяжка болтов (чаще силовых трансформаторов);

у коллекторов машин постоянного тока — дефекты паяк «петушков», т. е. мест соединения отдельных секций обмотки якоря к пластинам коллектора, засорение промежутков между пластинами;

у подшипников синхронных генераторов — нарушения изоляции их от фундаментной плиты, служащей для устранения паразитных «подшипниковых токов», которые возникают у генераторов, если изоляция нарушена, при их работе в контуре вал ротора — подшипники — фундаментные плиты — вал ротора из-за несимметрии магнитного поля ротора (вызывается неравномерностью воздушного зазора между ротором и статором; в результате в контуре возникает при работе генератора пульсирующее поле, вызывающее по закону Джоуля — Ленца пульсирующие токи, повреждающие подшипники и металл в местах их возникновения);

у бетонных реакторов — увлажнение бетонных стоек, выполняющих одновременно функции изоляции между витками обмотки реактора и опорной конструкции;

у устройств заземления — дефекты соединения заземляющих проводок с корпусом оборудования и между отдельными участками заземляющих устройств, несоответствие сопротивления растеканию контура требованиям ПУЭ и техники безопасности.

Для обеспечения надежной работы электрооборудования все его дефекты должны быть своевременно выявлены, оценены и устранены.

Общие дефекты оборудования определяют общие методы их выявления, которые могут быть объединены в следующие основные группы:

1) методы определения состояния механической части электрооборудования;

2) измерения и испытания, определяющие состояние магнитной системы;

3) измерения и испытания, определяющие состояние токоведущих частей и контактных соединений;

4) измерения и испытания, определяющие состояние изоляции токоведущих частей;

6) методы проверки и испытаний устройств релейной защиты, автоматики, управления, сигнализации и других вторичных устройств;

7) методы окончательной оценки пригодности электрооборудования к опробованию и эксплуатации.

Оценка состояния механической части

Оценка состояния механической части начинается с его осмотра (ревизии). При осмотре оценивается общее состояние оборудования, выявляются все наружные дефекты, проверяется соответствие оборудования проекту и техническим требованиям по паспортным данным и заводской документации.

Осмотру подвергаются все виды электрооборудования, реле, приборы. При осмотре обращается внимание на отсутствие коррозии и механических повреждений, у маслонаполненных аппаратов — отсутствие течи масла, повреждений у магнитопроводов, выводов, контактных соединений, главной и междувитковой изоляции.

Оборудование перед осмотром должно быть очищено от пыли, грязи, заводской смазки и ржавчины; монтаж его должен соответствовать нормативным требованиям. Перечень замеченных недостатков по внешнему состоянию оборудования предъявляется монтажному и эксплуатационному персоналу для принятия мер по их устранению. Дальнейшие работы по проверке, испытаниям и наладке производятся только после устранения дефектов.

Состояние механической части масляных выключателей определяется, кроме того, по целому комплексу проверок, из которых главными являются следующие: измерение скорости включения и отключения, «вжатия» контактов при включении, одновременности замыкания и размыкания контактов в пределах одной и всех трех фаз, измерение минимального напряжения срабатывания привода, опробование работы выключателей при по-

вышенном, пониженном и нормальном напряжениях оперативного тока.

Состояние механической части воздушных выключателей дополнительно определяется измерением «сброса» давления воздуха при операциях включения и отключения, давления «трогания» главных контактов выключателя и давления завершения операции, расхода воздуха на утечку, осциллограммой различных циклов выключателя.

Механическое состояние электрических машин окончательно определяется результатами опробования их на холостом ходу и под нагрузкой с проверкой нагрева и вибрации, работы масляной и охлаждающей систем, а силовых трансформаторов — по результатам измерений сопротивления постоянному току обмоток и коэффициента трансформации, снятия «круговых диаграмм» (при наличии у трансформатора переключателя под нагрузкой), по работе системы принудительной циркуляции масла и обдува радиаторов для охлаждения обмоток (при их наличии).

Состояние устройств заземления определяется измерением их *сопротивления, напряжения прикосновения, переходных сопротивлений* постоянному току отдельных «точек» присоединения.

Механическое состояние измерительных трансформаторов, различных сборок, щитов, неподвижных узлов комплектных распределительных устройств, реакторов и т. п. определяется, главным образом, только по результатам внешнего осмотра.

Оценка состояния электромагнитной системы

Существует зависимость *тока намагничивания* магнитопроводов с обмотками от качества стали и их сборки и наличия короткозамкнутых витков в обмотке, т. е. от состояния обмотки. Эта зависимость и используется для определения состояния электромагнитной системы измерительных трансформаторов. Снятая у них характеристика зависимости тока намагничивания в обмотке от подаваемого на нее напряжения позволяет судить по характеру ее изменения и особенно в начальной части о наличии, например, у трансформатора тока (ТТ) междувиткового повреждения (короткозамкнутых витков). Сказанное отчетливо видно из рис. 15. Резкое снижение

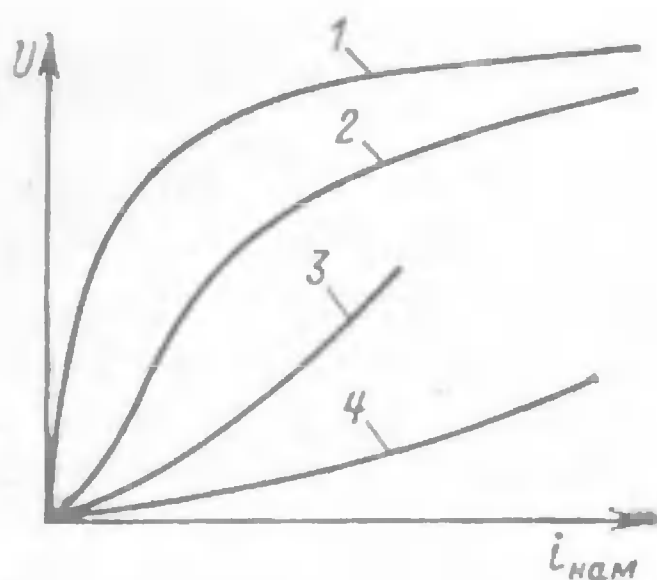


Рис. 15. Зависимость $i_{\text{нам}}$ от подаваемого напряжения U в обмотку исправного трансформатора тока и с короткозамкнутыми витками:

1 — исправный ТТ; 2 — ТТ с малым количеством короткозамкнутых витков (один-два); 3 — закорочены три-четыре витка; 4 — закорочено значительное количество витков

характеристики намагничивания в начальной части ее в этом случае объясняется значительным размагничиванием магнитопровода при малых значениях магнитного потока. Как видно из рисунка, кроме того, при незначительном количестве короткозамкнутых витков характеристика изменяется только в начальной части, при значительном — и в насыщенной части.

Снятые характеристики намагничивания ТТ сравниваются с типовыми или опытными. Значительные отклонения от типовых или опытных также являются признаком повреждения.

Существует также зависимость *потерь холостого хода* от повреждений обмоток и стали магнитопровода в силовых трансформаторах. Она используется для оценки состояния последних. Если подать на одну из обмоток трансформатора при разомкнутых других (холостой ход) ток, то в первой ваттметром можно измерить мощность, определяющую «потери» на так называемое намагничивание трансформатора и нагрев обмотки током намагничивания.

Эта мощность регламентирована типом и конструкцией трансформатора и указывается в заводской документации его. Следовательно, измеренную при определенном напряжении мощность можно сравнить с паспортными или каталожными данными и установить, имеют ли место в трансформаторе заводские или явившиеся следствием транспортировки или монтажа на месте установки дефекты.

При наличии замыкания в обмотках или дефектов магнитопровода (нарушение изоляции между листами стали, использование некачественной стали) измеренные потери будут значительно превышать заводские или каталожные данные.

У трансформаторов напряжения для оценки состояния их измеряют ток холостого хода, т. е. ток во вторичной обмотке, имеющий место при номинальном напряжении. По аналогии с потерями в силовых трансформаторах этот ток также может быть использован для оценки состояния трансформаторов напряжения путем сравнения его с приведенным в заводской документации или в каталожных данных.

Состояние магнитопроводов электрических машин оценивается снятием *характеристик холостого хода и короткого замыкания* (у синхронных генераторов), а также нагрузочных характеристик (у машин постоянного тока) и сравнением полученных характеристик с заводскими, имеющимися в сопроводительной документации. По характеристикам одновременно определяются дополнительные параметры, необходимые для наладки устройств регулирования возбуждения и дальнейших расчетов, производимых при эксплуатации.

Оценка состояния токоведущих частей

Методика определения состояния токоведущих частей и их контактных соединений основана на непосредственном влиянии дефектов и качества выполнения на сопротивление постоянному току.

При наличии значительного количества короткозамкнутых витков измеренное сопротивление постоянному току обмоток, как правило, меньше приведенного в паспорте или в протоколах предыдущих измерений, а при обрыве или нарушении контактных соединений оно больше его.

Если при измерениях сопротивления постоянному току обмоток силовых трансформаторов по отпайкам имеет место нарушение последовательности их, то это означает, что отпайки на переключателе подключены неверно. Отклонение одного из измерений от предыдущих и заводских данных является признаком дефекта соединения обмотки с переключателем или нарушения пайки внутри обмотки.

При наличии нарушения пайки «петушков» у коллектора якоря машин постоянного тока имеет место при измерениях значительное отклонение сопротивления постоянному току между парой коллекторных пластин от сопротивления остальных пар.

При плохом регулировании контактов выключателя при монтаже имеет место при измерениях значительное превышение переходного сопротивления постоянному току силовых контактов против нормативных данных. Признаком неудовлетворительной регулировки контактов является также значительное расхождение сопротивлений постоянному току по отдельным фазам.

Результаты измерений сопротивления постоянному току не являются единственным критерием состояния токоведущих частей. Дефекты последних выявляются дополнительным прогревом их током от постороннего источника или рабочим током нагрузки и определением степени нагрева, дефекты у опрессованных контактных соединений — измерением геометрических размеров и сравнением их результатов с нормативными.

Оценка состояния изоляции

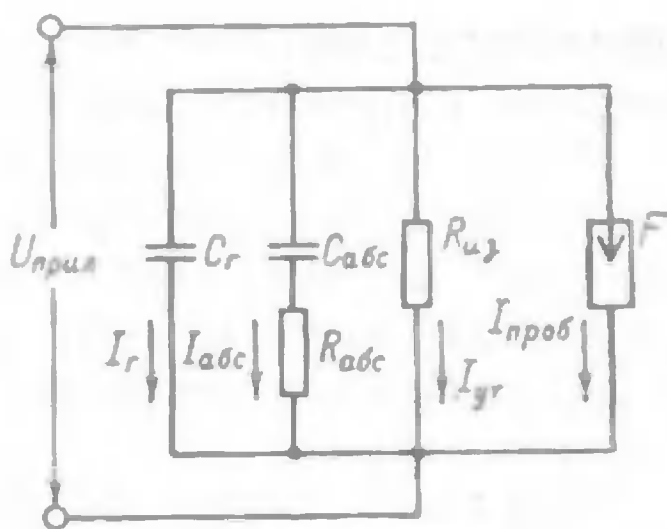
Методы испытаний, проверок и измерений, определяющих состояние изоляции токоведущих частей электрооборудования, вытекают из физической сущности изоляции.

Любая изоляция, применяемая в электрических машинах и аппаратах, по существу, является конденсатором со сложной средой. Обкладками его являются наружные элементы конструкции машины или аппарата (корпус, сердечник) и токоведущие части (жилы кабеля, провода, шины), среда — изоляционный материал, структура которого определяется не только используемым материалом (в машинах — слюда, в аппаратах — слюда, волокно, бумага, маслобарьерная изоляция), но и состоянием ее — наличием дефектов, в частности увлажнения.

Физические процессы в изоляции при приложении к ней напряжения по этой причине аналогичны тем, которые имеют место в электрическом конденсаторе. Для удобства рассмотрения этих процессов принято изображать изоляцию в виде схемы замещения, представленной на рис. 16. Многолетний опыт проверки состояния изоляции с помощью различных измерений, среди которых главное место занимает измерение *сопротивления изоляции* и *коэффициента абсорбции* с помощью мегаомметра, подтверждает правильность такого представления изоляции в электрических машинах и аппаратах.

Рис. 16. Схема замещения изоляции электрооборудования:

C_r , I_r — геометрическая емкость и ток ее заряда; $C_{абс}$, $I_{абс}$ — абсорбционная емкость и ток ее заряда; $R_{из}$, $I_{ут}$ — сопротивление изоляции постоянному току и ток утечки, определяемый им; $I_{проб}$ — ток в изоляции при ее пробое; $U_{прил}$ — напряжение, приложенное к изоляции при измерениях и испытаниях; F — разрядник, условно изображающий пробой; $R_{абс}$ — сопротивление абсорбции



При приложении выпрямленного напряжения, в частности от мегаомметра, в схеме замещения (рис. 16) в первый момент времени протекает только ток заряда геометрической емкости I_r , т.е. емкости, определяемой геометрическими размерами изоляции. В этот момент реальная среда — материал изоляции — не проявляется, как будто между границами ее (обкладками конденсатора C_r) имеется вакуум.

Этот ток быстро прекращается, а положительные и отрицательные заряды, накопившиеся на границах изоляции за этот период времени, создают в ее толще электрическое поле, под действием которого после прекращения прохождения тока I_r возникает явление поляризации, характерное уже для реального изоляционного материала со сложной структурой. С этим явлением связано прохождение через материал изоляции конденсатора после заряда геометрической емкости тока поляризации $I_{абс}$, т.е. тока, который определяется ориентацией характерных для изоляции диполей (рис. 17), а

также зарядом отдельных конденсаторов $C_{абс}$ (абсорбционных емкостей), образующихся между слоями изоляции. Значение этого тока зависит от дефектов и неоднородности изоляции, а также активного сопротивления

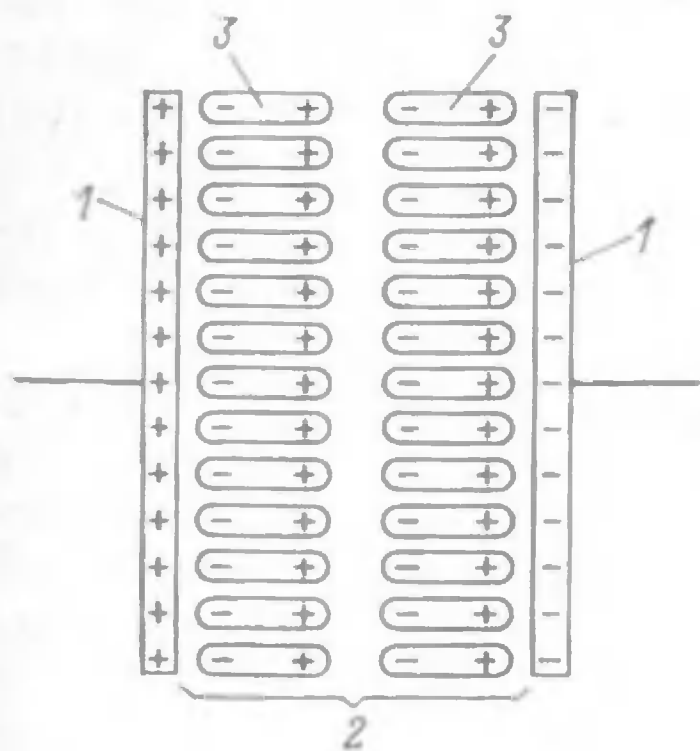


Рис. 17. Условная схема диэлектрика:

1 — обкладка конденсатора (на границах диэлектрика); 2 — диэлектрик — среда; 3 — диполь

отдельных смежных участков, так называемых *абсорбционных сопротивлений*.

Известно, что процесс ориентировки диполей в электрическом поле происходит медленно и требует затрат энергии. В результате ток заряда конденсатора по сравнению с тем, как это происходит в вакууме, изменяется во времени также медленно, и его значение сильно увеличивается.

Известно также, что постоянная времени цепочек R и C равна $T=RC$, т. е. чем больше R , тем больше и время заряда T . Этим и объясняется, почему заряд абсорбционной емкости происходит медленно.

Увлажненность изоляции влияет в первую очередь на значение $R_{абс}$. Чем больше увлажненность, тем меньше $R_{абс}$, и ток поляризации увеличивается, затухание его происходит быстрее. Это свойство используется при методе определения состояния изоляции с помощью мегаомметра, который объединяет в себе источник выпрямленного напряжения, прикладываемого при измерениях к изоляции, и прибора, измеряющего ток.

В общем случае, чем больше $R_{абс}$, что имеет место при сухой изоляции, тем меньше ток заряда абсорбционной емкости (ток абсорбции) и тем больше время заряда. Чем меньше $R_{абс}$ (влажной изоляции), тем больше ток абсорбции и тем меньше время заряда.

После прекращения процесса поляризации, т. е. заряда абсорбционной емкости, ток $I_{абс}$ становится равным нулю, но через изоляцию продолжает протекать ток *сквозной проводимости* (ток утечки), определяемый общим сопротивлением постоянному току изоляции, условно изображенным на рис. 16 в виде сопротивления $R_{из}$. Сопротивление $R_{из}$ также зависит от состояния изоляции. У загрязненной или увлажненной изоляции оно значительно меньше, чем у чистой или неувлажненной, что влияет на значение тока утечки. Кривые изменения токов в сухой и увлажненной изоляции с учетом влияния поляризации представлены на рис. 18.

При приложении к изоляции напряжения, превышающего электрическую прочность, происходит пробой ее в наиболее слабом месте, сопровождающийся выгоранием и разрушением поврежденного участка. Разрядник F на схеме рис. 17 условно изображает такой пробой в изоляции.

Сопротивление изоляции постоянному току $R_{из}$ явля-

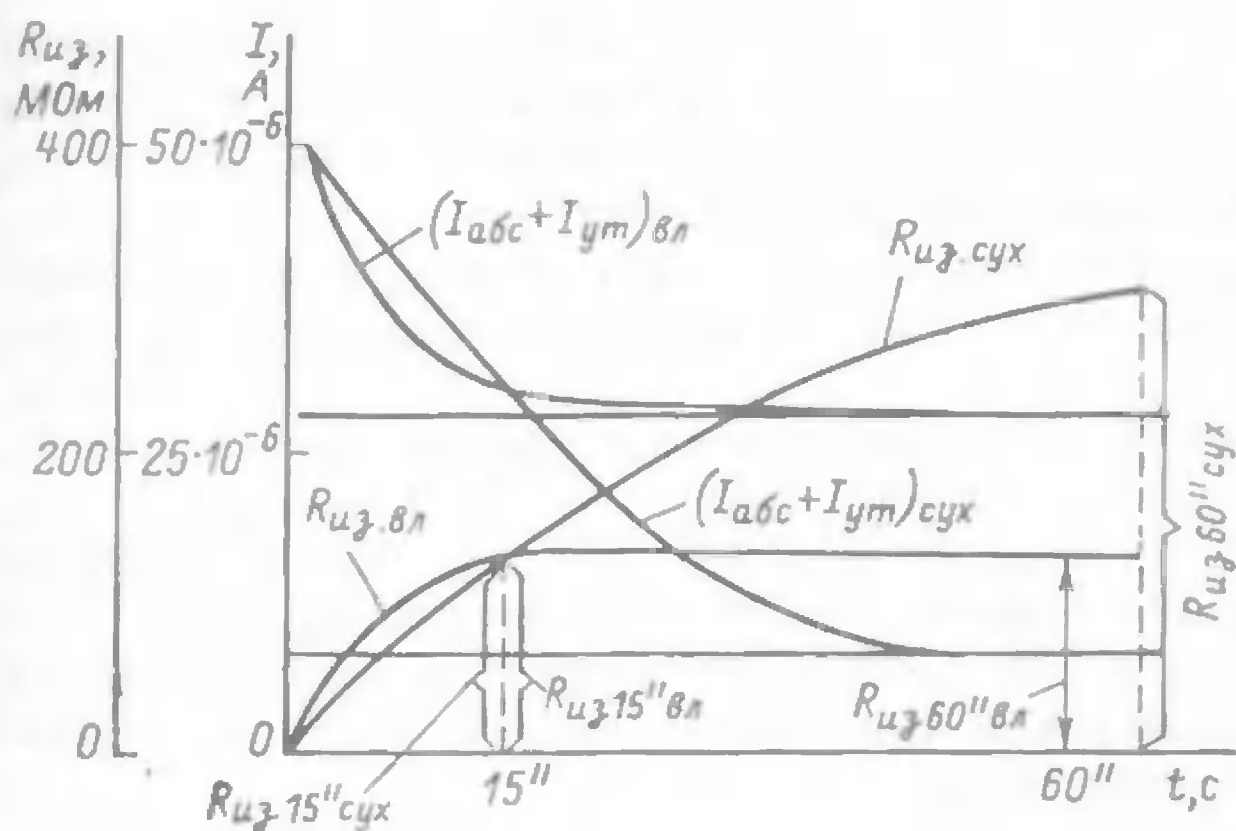


Рис. 18. Кривые изменения во времени токов и $R_{из}$ сухой и влажной изоляции при приложении к ней выпрямленного напряжения

ется основным показателем состояния изоляции. Определение $R_{из}$, Ом, производится измерением тока утечки $I_{ут}$, протекающего через изоляцию, при приложении к ней выпрямленного напряжения.

В связи с явлением поляризации, имеющим место в изоляции, значение сопротивления $R_{из}$ зависит от времени с момента приложения напряжения. Правильный результат может дать измерение тока утечки по истечении 60 с после приложения, т. е. в момент, к которому ток абсорбции в изоляции в основном затухает. Определение $R_{из}$ производится с помощью мегаомметров, отградуированных непосредственно в значениях сопротивления постоянному току.

Коэффициент абсорбции $K_{абс}$ лучше всего определяет увлажнение изоляции. Коэффициент абсорбции — отношение $R_{из}$, измеренного мегаомметром через 60 с с момента приложения напряжения, к $R_{из}$, измеренному через 15 с:

$$K_{абс} = \frac{R_{60}}{R_{15}}.$$

Если изоляция сухая, то коэффициент абсорбции значительно превышает единицу, у влажной изоляции он близок к единице. Объясняется это временем заряда абсорбционной емкости у сухой и влажной изоляции. В первом случае (сухая изоляция) время велико, ток заряда изменяется медленно, значения $R_{из}$, соответствующие

щие 15 и 60 с после начала измерения, сильно различаются. Во втором случае (влажная изоляция) время мало, ток заряда изменяется быстро и уже к 15 с после начала измерения устанавливается.

Коэффициент абсорбции является вторым основным показателем состояния изоляции машины и трансформаторов.

На рис. 19 представлены кривые изменения $R_{из}$ во времени для увлажненной и сухой изоляции.

Сопротивление изоляции $R_{из}$, а также коэффициент абсорбции $K_{абс}$ сильно зависят от температуры, поэтому для сравнения следует пользоваться их значениями, измеренными при одной температуре. Влияние температуры подчиняется закону

$$R_{t_2} = R_{t_1} \cdot 10^{-(t_2 - t_1)/\alpha},$$

где R_{t_1} , R_{t_2} — сопротивления изоляции постоянному току при температурах t_1 и t_2 ; α — коэффициент, зависящий от типа изоляции: для изоляции класса А — 40, для изоляции класса В — 60.

Сопротивление изоляции класса А при понижении температуры на каждые 10°C увеличивается в полтора раза, и наоборот. На основе этого закона составлена таблица, по которой производится приведение измеренных $R_{из}$ к одной температуре:

Разность температур $t_2 - t_1$	.	1	2	3	4	5
Коэффициент изменения R_{60}		1,04	1,08	1,13	1,17	1,22

Продолжение

Разность температур $t_2 - t_1$	.	10	15	20	25	30
Коэффициент изменения R_{60}		1,5	1,84	2,25	2,75	3,4

Сопротивление изоляции класса В при повышении температуры на каждые 18°C снижается примерно в 2 раза. Из этого закона исходят при приведении значения $R_{из}$ к одной температуре для изоляции класса В.

Сопротивление изоляции постоянному току и коэффициент абсорбции не измеряются при температуре менее $+10^\circ\text{C}$, так как в этом случае поведение влаги нестабильно, следовательно, результаты измерения не отражают истинного состояния изоляции. При температуре ниже 0°C вода вообще превращается в лед, а последний является прекрасным диэлектриком, что тем более искажает оценку увлажненности изоляции.

Метод «емкость — время». Оценка состояния волокнистой изоляции класса А, используемой в силовых трансформаторах, в настоящее время производится дополнительно методом «емкость—время». При этом методе производятся заряд емкости изоляции, а затем разряды — быстрый (закорачиванием сразу после окончания заряда) и медленный (закорачиванием через 1 с после окончания заряда). В первом случае определяется емкость C , во втором случае — прирост емкости ΔC за счет абсорбционной емкости, которая успевает проявиться за 1 с у влажного трансформатора, но не успевает проявиться у сухого.

У сухого трансформатора $\Delta C_{\text{сух}}$ незначительна (0,02—0,08) C при $t=10^\circ\text{C}$, у влажного (также при $t=10^\circ\text{C}$) $\Delta C_{\text{вл}} \gg 0,1 C$.

Для других значений температур максимально допустимая величина $\Delta C_{\text{сух}}/C$ равна:

Температура, при которой производится измерение, $^\circ\text{C}$	10	20	30	40	50
$\Delta C/C$, %	8	12	18	29	44

Емкостные методы позволяют оценивать состояние волокнистой изоляции потому, что для этой изоляции характерна зависимость явления поляризации от увлажнения.

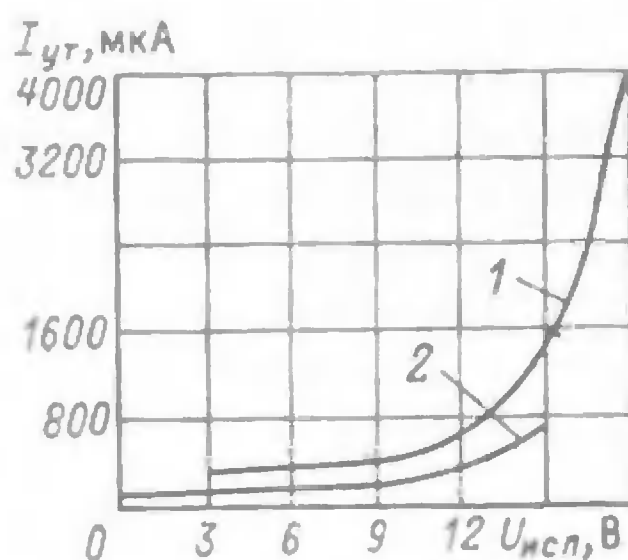
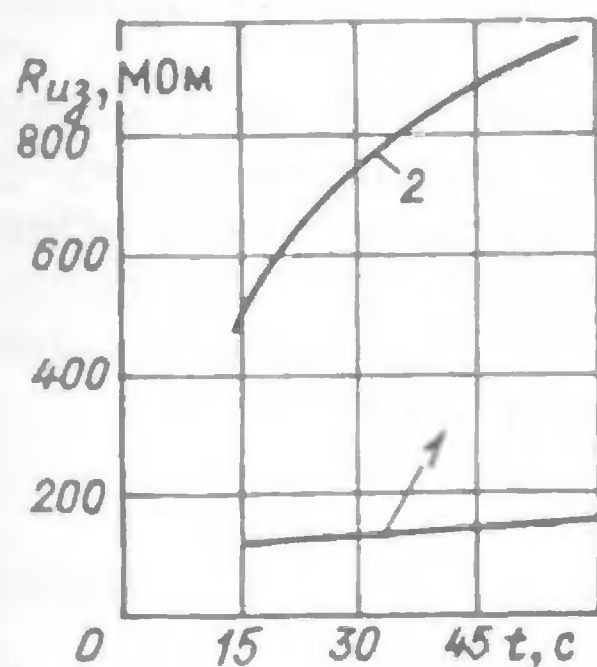


Рис. 19. Кривые изменения сопротивления изоляции $R_{из}$ во времени для силового трансформатора:

1 — влажного $\left(\frac{R_{из}}{R_{из}} \sim 1,1\right)$; 2 — высушенного $\left(\frac{R_{из}}{R_{из}} \sim 1,7\right)$

Рис. 20. Зависимость токов утечки $I_{ут}$ для электродвигателя 6 кВ от приложенного напряжения:

1 — с увлажненной обмоткой; 2 — с обмоткой с удовлетворительной изоляцией

ненности. У многослойной изоляции класса В явление поляризации значительно и у сухой изоляции, из-за чего емкостные методы в этом случае неэффективны.

Емкостно-частотный метод. Для оценки состояния волокнистой изоляции класса А, используемой в силовых трансформаторах напряжением 35 кВ и ниже, может применяться метод *частотной зависимости емкости (емкостно-частотный)*. Как уже известно, ток заряда геометрической емкости изменяется как у сухой, так и у влажной изоляции очень быстро (в пределах первого полупериода частоты 50 Гц, т. е. 0,01 с). Известно также, что емкость влажной изоляции в отличие от емкости сухой изоляции содержит значительную абсорбционную емкость, ток заряда которой изменяется медленнее, чем ток заряда геометрической емкости. Это свойство и используется при методе частотной зависимости емкости, при которой измеряется емкость изоляции на частотах 2 и 50 Гц. При измерении емкости изоляции на частоте 50 Гц (C_{50}) успевает проявиться только геометрическая емкость, одинаковая у сухой и влажной изоляции. При изменении емкости изоляции на частоте 2 Гц (C_2) успевает проявиться абсорбционная емкость влажной изоляции, так как у сухой изоляции она меньше и заряжается очень медленно. У сухой изоляции отношение C_2/C_{50} в связи с этим близко к единице, а у влажной оно значительно больше единицы. Измерения C_2 и C_{50} производят приборами ПКВ-8.

Метод измерения токов утечки. В качестве дополнительного метода оценки состояния изоляции класса В, используемой в электрических машинах, в настоящее время применяется измерение токов утечки при приложении к изоляции выпрямленного напряжения различного значения, т. е. снятие характеристики

$$I_{ут} = f(U_{выпр}),$$

где $I_{ут}$ — ток утечки; $U_{выпр}$ — прикладываемое к изоляции напряжение.

У машин, имеющих увлажненную изоляцию, зависимость токов утечки от приложенного выпрямленного напряжения нелинейна (рис. 20). Нелинейность тем больше, чем больше прикладываемое напряжение, что связано с явлением ионизации, наступающим при определенном напряжении и бурно после этого развивающимся. Эта закономерность используется для оценки состояния

увлажненности обмоток электрических машин. Критерием оценки служит коэффициент нелинейности $K_{\text{нелин}}$, который директивными нормами определяется как отношение сопротивления изоляции постоянному току $R_{\text{из}}$ при двух значениях тока утечки — соответствующих минимальному и максимальному испытательным напряжениям ($U_{\text{исп}} = 0,5U_{\text{ном}}$ и $U_{\text{исп}} = U_{\text{max}}$).

Коэффициент нелинейности изоляции с допустимой степенью увлажненности обычно не превышает 3.

Метод измерения тангенса угла диэлектрических потерь. Как известно, ток, протекающий через изоляцию при приложении к ней переменного напряжения, состоит из двух составляющих — активной I_a и реактивной I_c (рис. 21). Активная составляющая обусловлена потерями на нагрев и ионизацию, реактивная — зарядкой и разрядкой емкости (изоляции) в каждый период приложенного переменного напряжения. Активный ток мог бы сам по себе характеризовать состояние изоляции, так как все внутренние дефекты изоляции и в том числе увлажненность увеличивают этот ток. Однако значение его зависит также от размеров оборудования. Поэтому для оценки состояния изоляции используется отношение составляющих тока I_a и I_c , которое представляет собой, как это видно из рис. 21, $\tan \delta$. При любых размерах оборудования и удовлетворительном состоянии его изоляции отношение I_a одинаковое и будет изменяться лишь при наличии дефектов или увлажненности, что приведет к относительно большому изменению активной составляющей тока по сравнению с реактивной.

Тангенс угла диэлектрических потерь $\tan \delta$ зависит у одного и того же оборудования в одном и том же со-

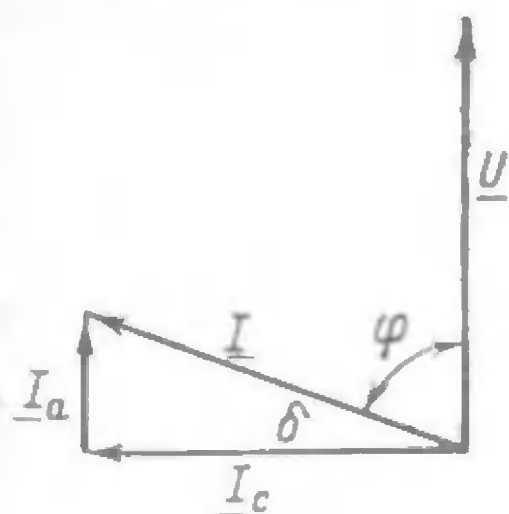


Рис. 21. Диаграмма токов при приложении к изоляции переменного напряжения

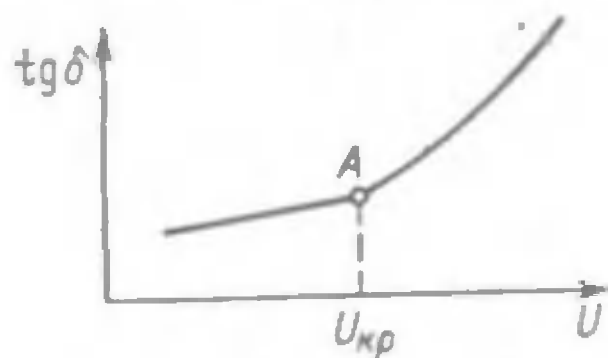


Рис. 22. Зависимость $\tan \delta$ изоляции от приложенного напряжения:

A — точка начала ионизации; $U_{\text{кр}}$ — критическое напряжение, при котором начинается ионизация

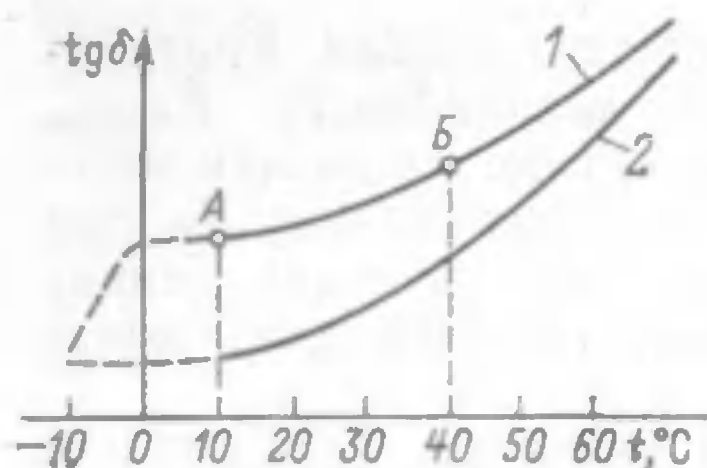


Рис. 23. Зависимость $\operatorname{tg} \delta$ изоляции от температуры:

1 — увлажненная изоляция; 2 — сухая изоляция; AB — зона устойчивых измерений; пунктиром показаны участки неустойчивых измерений

стоянии также от температуры и значения прикладываемого напряжения, что видно из рис. 22 и 23. С увеличением температуры уменьшается сопротивление изоляции, что приводит к соответствующему увеличению активной составляющей тока I_a , определяющей диэлектрические потери. Зависимость же $\operatorname{tg} \delta$ от напряжения объясняется степенью ионизации, особенно бурно наступающей после критического напряжения (точка B на рис. 23).

Для оценки состояния изоляции электрических машин $\operatorname{tg} \delta$ не нашел применения, так как на него сильное влияние оказывает корона, являющаяся результатом не характеризующей состояние изоляции внешней ионизации, и связывающий состав изоляции класса В.

Измерение $\operatorname{tg} \delta$ широко используется для оценки состояния изоляции трансформаторов и вводов высокого напряжения. Измерения производятся по указанным выше причинам при температуре от 10 до 40 °С. Для удобства сравнения различных измерений $\operatorname{tg} \delta$, сделанных в разное время и в различных условиях (завод, место установки), пользуются следующими зависимостями $\operatorname{tg} \delta$ от температуры:

Разность температур $t_1 - t_2$	1	2	3	4
Коэффициент изменения $\operatorname{tg} \delta$ волокнистой изоляции	1,03	1,06	1,09	1,12
Коэффициент изменения $\operatorname{tg} \delta$ трансформаторного масла	1,04	1,08	1,13	1,17
Разность температур $t_1 - t_2$	20	25	30	35
Коэффициент изменения $\operatorname{tg} \delta$ волокнистой изоляции	1,75	2	2,3	—
Коэффициент изменения $\operatorname{tg} \delta$ трансформаторного масла	2,25	2,75	3,4	4,15

Продолжение			
Разность температур $t_1 - t_2$	5	10	15
Коэффициент изменения $\operatorname{tg} \delta$ волокнистой изоляции	1,15	1,31	1,51
Коэффициент изменения $\operatorname{tg} \delta$ трансформаторного масла	1,22	1,5	1,84
Разность температур $t_1 - t_2$	40	45	60
Коэффициент изменения $\operatorname{tg} \delta$ волокнистой изоляции	—	—	—
Коэффициент изменения $\operatorname{tg} \delta$ трансформаторного масла	5,1	6,2	7,5

Измерение $\operatorname{tg} \delta$ при температуре ниже 10°C не производится по той же причине, что и другие изоляционные измерения (см. выше).

Испытание изоляции повышенным напряжением. Некоторые дефекты изоляции из-за недостаточного уровня напряженности электрического поля, имеющего место при предварительных проверках и измерениях, могут быть не обнаружены. Для выявления грубых и сосредоточенных дефектов производятся *испытания изоляции повышенным напряжением*, и эти испытания являются основными, после которых выносится окончательное суждение о возможности нормальной работы оборудования с такой изоляцией в условиях эксплуатации.

Испытания производятся после предварительной проверки состояния изоляции и при условии удовлетворительных результатов этой проверки. Аппараты с изоляцией, находящейся в масле, кроме того, могут подвергаться испытаниям только при удовлетворительных результатах анализа масла.

В качестве испытательного напряжения используется обычно напряжение промышленной частоты 50 Гц. В заводских условиях испытания электрооборудования с номинальным напряжением 300 кВ и выше иногда производятся при частоте 100 Гц и больше, что позволяет уменьшить габариты испытательных установок. Напряжение промышленной частоты более доступно в условиях монтажа и эксплуатации, а кроме того, оно создает в оборудовании реальные условия распределения градиентов электрического поля и такие же диэлектрические потери, вызывающие тепловой пробой, какие имеют место в условиях эксплуатации.

Время приложения испытательного напряжения ограничивается во избежание преждевременного старения изоляции. Для главной изоляции оно составляет 1 мин,

для междувитковой 5 мин. Продолжительность испытания междувитковой изоляции больше потому, что запас электрической прочности ее значительно выше, чем главной. Указанного времени обычно бывает достаточно, чтобы за это время успеть осмотреть оборудование или установку, оценить поведение их во время испытания и выявить места пробоя.

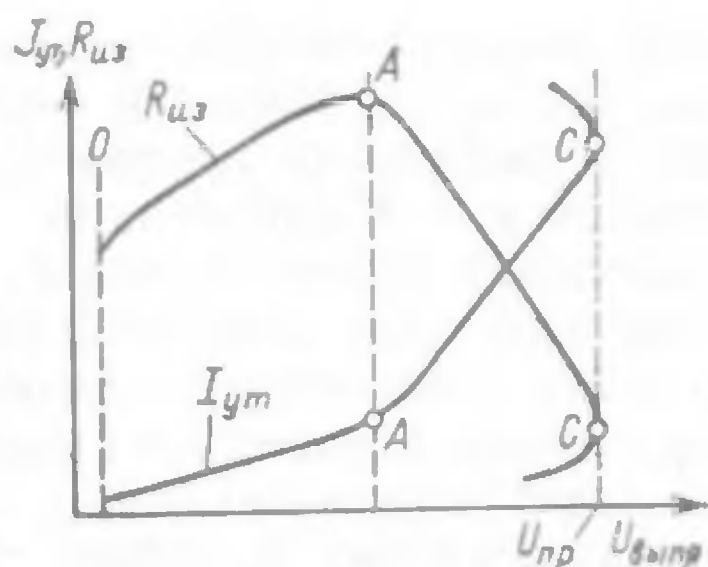
В ряде случаев (испытание изоляции крупных электрических машин, тяг выключателей, разрядников, силовых кабелей) испытание производится повышенным *выпрямленным напряжением*, которое по сравнению с переменным напряжением не создает в изоляции реальных условий эксплуатации, более того, при испытании выпрямленным напряжением имеет место неравномерное распределение напряжения по толщине изоляции из-за неоднородности ее в зависимости от проводимости отдельных ее частей. Но при испытании выпрямленным напряжением имеется возможность измерять токи утечки, являющиеся дополнительным критерием оценки состояния изоляции. Для электрических машин имеет значение более равномерное при испытании выпрямленным напряжением распределение напряжения вдоль обмотки, позволяющее одинаково испытывать пазовые и лобовые части ее. Общим преимуществом выпрямленного напряжения по сравнению с переменным является то, что требуемая мощность выпрямительных установок значительно меньше установок переменного тока, благодаря чему передвижные установки всегда менее громоздки и более портативны. Последнее имеет особое значение для наладочных организаций, производящих испытания на объектах, территориально разбросанных и требующих транспортировки установок.

Пробивное выпрямленное напряжение выше, чем переменное (в среднем в 1,5 раза) и потому позволяет увеличить продолжительность испытаний до 10—20 мин, что, в свою очередь, позволяет более внимательно осматривать изоляцию во время испытания и облегчает выявление пробоев.

Некоторую особенность имеют испытания междувитковой изоляции. С помощью технических средств, имеющих в распоряжении наладочных организаций, эффективно испытать междувитковую изоляцию не представляется возможным, поэтому у силовых и измерительных трансформаторов это испытание для оценки состояния

Рис. 24. Зависимость сопротивления изоляции $R_{из}$ и тока утечки $I_{ут}$ от приложенного напряжения (выпрямленного):

Участок OA — дефект не проявляется; A — критическая точка, после которой $R_{из}$ резко падает, а $I_{ут}$ резко возрастает; участок AC — сильная ионизация дефектного промежутка, форсирование условий для пробоя; C — точка пробоя изоляции при напряжении пробоя



их не производится. Из электрических машин междувитковая изоляция испытывается только у генераторов, и то частично, путем повышения возбуждения во время пусковых испытаний на холостом ходу до установления напряжения на выводах турбогенератора $1,3 U_{ном}$ и гидрогенератора $1,5 U_{ном}$. Однако такое испытание с точки зрения испытания междувитковой изоляции малоэффективно и производится только для того, чтобы эксплуатационный персонал мог убедиться в том, что вводимый в работу генератор работает нормально в условиях возможных эксплуатационных перенапряжений.

На рис. 24 представлена картина изменения $R_{из}$ и тока утечки $I_{ут}$ от приложенного выпрямленного напряжения к изоляции до момента пробоя ее.

Методы проверки качества выполнения схем электрических соединений электрооборудования

В электрических машинах, силовых и измерительных трансформаторах обмотки имеют внутреннее электрическое соединение непосредственное или через дополнительные устройства, например переключатель в силовых трансформаторах.

В приводах коммутационной аппаратуры отдельные элементы также имеют между собой электрические соединения, например обмотки управления, вспомогательные контакты и пр. Такие соединения внутри аппаратов требуют проверки правильного выполнения их.

Все оборудование электростанций или подстанций электрически соединяются с помощью шин, кабелей и проводов в единую электрическую схему, также требующую тщательной проверки соответствия проекту. При

этой проверке особое внимание обращается на соблюдение такого чередования фаз (последовательности их) и таких соединений одноименных фаз различных узлов установки и оборудования, при которых возможна параллельная работа их между собой и с системой (см. § 3). Если в проекте допущена ошибка в согласовании фаз, то в него вносят по согласованию с эксплуатационным персоналом соответствующие исправления, имея в виду, что монтажные ошибки, а также проектные приводят при включениях в работу к серьезным повреждениям оборудования и установок, так как такие включения аналогичны включению на короткое замыкание.

При проверке внешних соединений обращается внимание также на правильное размещение оборудования (аппаратов, панелей или шкафов управления ими и т. п.) в соответствии со схемой заполнения, входящей в состав проекта.

Электрические схемы соединений проверяются проще всего прослеживанием (визуально); если это невозможно, прибегают к помощи вспомогательной аппаратуры, имеющейся всегда в распоряжении наладочных и эксплуатационных организаций (пробники, мегаомметры, телефонные трубки и т. п.).

Схемы внутренних соединений обмоток трансформаторов, электрических машин проверяются косвенно при проверке полярностей выводов обмоток и групп соединения первых (см. § 4), а также при проверке маркировки и согласования обмоток по полярностям последних (см. § 3).

Оценка состояния электрооборудования по результатам проверок, измерений и испытаний

Оценка состояния электрооборудования и готовности его к включению в эксплуатацию производится после сравнения результатов различных измерений и испытаний с допустимыми, регламентируемыми специальными нормами. Основными нормативными документами являются «Нормы испытания электрооборудования» (в дальнейшем Нормы) и «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ).

Заключение о возможности ввода оборудования в эксплуатацию производится на основании совокупности результатов приемо-сдаточных испытаний, так как час-

то, особенно в вопросах оценки состояния изоляции электрических машин, силовых трансформаторов и необходимости сушки ее, трудно найти решение по одному или даже двум критериям.

При оценке состояния оборудования широко используется метод сравнения результатов измерений оборудования одного и того же типа, исходя из предположения, что все проверяемое однотипное оборудование не может иметь одинаковые повреждения. Так, например, если характеристики намагничивания группы измерительных трансформаторов тока одинаково ниже типовых, а ток холостого хода нескольких трансформаторов напряжения одинаково превышает допустимый, то это значит, что имеет место не повреждение изоляции обмоток или магнитопровода, а применение в магнитопроводе стали, отличающейся по габаритам или сортаменту от той, по которой были сняты типовые характеристики.

Результаты измерений и испытаний всегда сравниваются для оценки с результатами предыдущих измерений и испытаний. Для вновь вводимого оборудования такими являются результаты заводских испытаний и измерений. Отличия допускаются лишь в пределах точности и различия применяемых методов измерений.

Проверки и испытания, предусматриваемые Нормами, не всегда бывают достаточны, особенно при оценке состояния несерийного оборудования или головного образца. В таких случаях они производятся по специальной программе, составляемой разрабатывающей организацией при участии проектирующей и эксплуатирующей организаций. Как правило, такие программы утверждаются главным инженером станции или энергосистемы.

Окончательное суждение о возможности включения оборудования в нормальную работу позволяет вынести опробование его в действии.

Опробование электрооборудования в действии производится после полного окончания монтажа и предпусковых наладочных работ.

При опробовании выполняются проверки, испытания и измерения, которые не могут быть сделаны по технологическим условиям в неподвижном состоянии оборудования, но необходимы для окончательного заключения о пригодности оборудования и эксплуатации. Методы опробования зависят от вида оборудования.

Коммутационные аппараты опробуются в определен-

ном цикле операций включения и отключения подачей на них штатного оперативного тока (нормируются Нормами) с измерением времени, скорости включения и отключения, минимального напряжения срабатывания электромагнитов привода, с проверкой работы привода при различных уровнях напряжения оперативного тока или давления воздуха у воздушных выключателей, осциллографированием различных циклов у них же и другими проверками и измерениями, регламентируемыми Нормами.

Силовые трансформаторы опробуются подачей на них напряжения с проверкой работы его «на слух», действия релейных защит и переключателя ответвлений.

Опробование синхронных генераторов производится по специальной программе с проверкой работы всех систем и устройств автоматики, релейных защит и завершается, как правило, синхронизацией и включением его в нормальную работу.

Электродвигатели опробуются подачей напряжения на них сначала при расцепленной муфте, соединяющей с приводимым механизмом, а затем при удовлетворительных результатах такого опробования на холостом ходу — с приводимым механизмом. Измеряемые при этом токи и поведение электродвигателя позволяют судить о качестве монтажа и готовности его к работе.

Оформление протоколов проверки и испытаний

Все результаты проверки, испытаний и опробования электрооборудования, которые производятся в процессе наладочных работ, оформляются протоколами. Протоколы содержат заключение, в котором даются общая оценка состояния оборудования, все результаты измерений, проверок, испытаний и опробований.

В ряде случаев вместо протоколов оформляются отчеты о всех произведенных проверках, испытаниях и измерениях с заключением, содержащим оценку состояния оборудования.

В целях унификации технической документации, упрощения и сокращения времени, необходимого для ее оформления, наладочными организациями разрабатываются стандартные формы протоколов и отчетов, требующие только заполнения их.

2. ОБЩИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ, ПРОИЗВОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Измерения электрических величин

Методы и точность измерений, типы приборов. Качество оценки состояния электрооборудования, правильность заключения о пригодности его к эксплуатации и надежность его работы зависят от правильности выбора метода измерения и измерительных приборов с учетом условий производства и необходимой точности измерения.

Измерения чаще всего производят методом *непосредственной оценки* по предварительно отградуированному прибору (тока, напряжения, мощности и т. п.). Но достаточно широко используется и измерение *методом сравнения* (сопротивлений — с помощью мостов, напряжения и ЭДС — с помощью потенциометров). Последний метод является наиболее точным. Оба метода относятся к способу прямого измерения.

Иногда применяется *метод косвенного измерения*, при котором интересующая нас величина определяется расчетным путем по предварительно измеренным прямым способом вспомогательным величинам (мощность по показаниям амперметра и вольтметра, тангенс угла диэлектрических потерь по показаниям ваттметра, вольтметра и амперметра и т. п.).

ГОСТ предусматривает следующие классы точности электроизмерительных приборов — 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; для шунтов и добавочных резисторов к приборам — 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0. Практически при оценке состояния оборудования используются приборы класса точности 0,5—2,5, для проверки приборов — 0,02—0,2.

По принципу действия приборы подразделяются на электромагнитные (обозначение на шкале — Э), магнитоэлектрические (М), электродинамические (Д), ферродинамические, индукционные, магнитоиндукционные, электростатические, вибрационные, тепловые, биметаллические, выпрямительные, термоэлектрические (Т), электронные (Ф), поляризованные. На шкале прибора изображаются условные обозначения, классифицирую-



Рис. 25. Шкала электронизмерительного прибора

щие погрешность и условия измерения [2]. На рис. 25 в качестве примера изображен внешний вид амперметра с нанесенными на нем условными обозначениями.

Измерение тока и напряжения. Для измерения тока и напряжения в цепях постоянного тока в большинстве случаев используются амперметры и вольтметры *магнитоэлектрической системы*, обладающие высокой точностью, чувствитель-

ностью и перегрузочной способностью. В отдельных случаях применяются и приборы *электромагнитной системы*. Для измерения тока и напряжения в цепях переменного тока промышленной частоты используются амперметры и вольтметры *электромагнитной, выпрямительной, электронной, электродинамической и термоэлектрической систем*. Приборы электромагнитной системы прочны, недороги и обладают достаточной точностью. Приборы выпрямительной системы не обладают высокой точностью, но большими их достоинствами являются многопредельность и возможность измерений как на переменном, так и на постоянном напряжении. Приборы электронной системы обладают большим внутренним сопротивлением и потому используются при высокочастотных измерениях. Приборы термоэлектрической системы применяются также при высокочастотных измерениях, но им свойственны низкая чувствительность и низкая перегрузочная способность, поэтому в практике наладочных работ их применение ограничено. Приборы электродинамической системы широко применяются наряду с электромагнитными приборами. Для измерений напряжения при испытаниях повышенным напряжением используются приборы *электростатической системы*. Технические данные перечисленных приборов приводятся в [2].

При выборе прибора для того или иного измерения учитывается следующее. Для измерений, не требующих большой точности (например, при измерении токов и напряжения срабатывания реле постоянного тока, электромагнитов приводов коммутационной аппаратуры, при измерениях для оценки состояния оборудования, кроме генераторов, компенсаторов, мощных силовых трансформаторов), могут использоваться приборы класса точности 1,0—1,5, а в некоторых случаях даже и класса 2,5. Для измерения при проверках синхронных генераторов, компенсаторов и мощных силовых трансформаторов используются, как правило, приборы класса 0,2—0,5. Для измерений при настройках релейных защит используются чаще всего приборы класса 0,5. Для измерений, производимых на маломощных устройствах (используемых обычно в цепях вторичных, например промежуточных трансформаторах, фильтрах земляных и дифференциальных защит и т. п.), внутреннее сопротивление вольтметров должно быть не менее 1000—2000 Ом/В, а внутреннее сопротивление миллиамперметров — не более 0,2—0,5 Ом. Для высокочастотных измерений применяются приборы с внутренним сопротивлением не менее 50—10 000 Ом/В.

Очень широкое применение нашли в настоящее время многопредельные *универсальные приборы*. Они удобны своей универсальностью и имеют достаточно большое внутреннее сопротивление при измерениях напряжения. Однако, как правило, точность их невелика и сильно зависит от формы кривой тока или напряжения.

При измерениях напряжения или тока несинусоидальной формы не пользуются приборами выпрямительной системы. При измерениях параметров релейной аппаратуры рекомендуется применять приборы тех же систем, что и сами реле. При использовании приборов выпрямительной системы должна учитываться их значительная температурная погрешность. При низких температурах (ниже 0 °С) такими приборами пользоваться вообще не рекомендуется. При измерениях в условиях электромагнитных влияний пользуются астатическими приборами, но и их следует располагать при измерениях так, чтобы влияния эти были минимальными.

При одновременном измерении тока и напряжения в зависимости от внутреннего сопротивления приборов выбирается место установки их в схеме. Если внутреннее

сопротивление вольтметра соизмеримо с сопротивлением проверяемого аппарата, то амперметр нельзя устанавливать до вольтметра, чтобы проходящий через него ток не вошел в измерение, но в этом случае должно быть достаточно низким внутреннее сопротивление амперметра, чтобы падение напряжения на нем не повлияло на результат измерения напряжения. При измерении тока или напряжения, значение которого превышает пределы измерения прибора, пользуются в первом случае измерительными трансформаторами тока (переменный ток) или наружными шунтами (постоянный ток), а во втором — измерительными трансформаторами напряжения (переменное напряжение) или добавочными резисторами (постоянное и переменное напряжения). При использовании трансформаторов тока или напряжения измеренные значения тока или напряжения определяются с учетом коэффициентов их трансформации, т. е.

$$I_{\text{изм}} = I_{\text{приб}} K_I; \quad U_{\text{изм}} = U_{\text{приб}} K_U,$$

где K_I и K_U — коэффициенты трансформации трансформаторов соответственно тока и напряжения.

При использовании шунта измеренное значение тока определяется по показанию милливольтметра $U_{\text{приб}}$ по формуле

$$I_{\text{изм}} = \frac{U_{\text{приб}}}{\Delta U_{\text{ш.ном}}} I_{\text{ш.ном}},$$

где $U_{\text{ш.ном}}$ — падение напряжения на шунте при номинальном токе шунта $I_{\text{ш.ном}}$.

При использовании добавочного резистора измеренное значение напряжения определяется по формуле

$$U_{\text{изм}} = U_{\text{приб}} \frac{R_v + R_{\text{д.р}}}{R_v},$$

где R_v и $R_{\text{д.р}}$ — внутренние сопротивления прибора (вольтметра) и добавочного резистора.

Основные технические данные шунтов, измерительных трансформаторов тока и напряжения приводятся в [2].

Измерение мощности. Для измерения мощности в цепях переменного тока применяются приборы электродинамической и ферродинамической систем классов точности 0,2—0,5 и индукционной системы классов точности 1,5—2,5. Включение их в схему производится с соблюдением полярности обмоток. При использовании электро-

динамических ваттметров следует учитывать сильную зависимость их показаний от $\cos \varphi$ нагрузки. Показания могут быть истинными лишь при $\cos \varphi$, близком к номинальному для прибора, в противном случае появляются значительные погрешности. При низких $\cos \varphi$ пользуются специальными малокосинусными ваттметрами, дающими правильные показания при $\cos \varphi = 0,1 \div 0,3$. Мощность в цепях постоянного тока при неизменных напряжениях и токе можно определить при измерениях амперметром и вольтметром магнитоэлектрической системы тока и напряжения по формуле

$$P = UI.$$

Наиболее широко при измерении мощности в цепях постоянного тока пользуются электродинамическими или магнитоэлектрическими ваттметрами.

Для расширения пределов измерения ваттметров применяются шунты или трансформаторы тока в цепи токовых обмоток и добавочные резисторы или трансформаторы напряжения в цепях напряжения.

Основные технические данные наиболее часто применяемых при оценке состояния электрооборудования однофазных ваттметров и схемы измерения с их помощью приводятся в [2].

Измерение коэффициента мощности, фазы, частоты и определение чередования фаз в электроустановках. Непосредственно коэффициент мощности измеряют фазометром электродинамической (Д578, Д5000), ферродинамической (Д120) или электромагнитной (Э120, Э500) систем. Технические данные приборов приводятся в [2].

Прибор ВАФ-85М. Наиболее универсальным прибором для измерения фазы, чередования фаз, абсолютных значений тока (до 10 А), напряжения промышленной частоты (до 250 В) и токов небаланса в устройствах релейных защит (до 250 мА) является детекторный прибор ВАФ-85М. Прибор-многопредельный с большим внутренним сопротивлением на всех пределах измерения напряжения (2500 Ом/В) и малым на малых пределах измерения, что имеет значение особенно при проверках и настройках устройств релейных защит. Внешний вид прибора представлен на рис. 26. Прибор имеет токосъемную приставку, позволяющую производить измерения в цепях тока без их разрыва и без специальных испытательных зажимов. Технические данные прибора и поря-

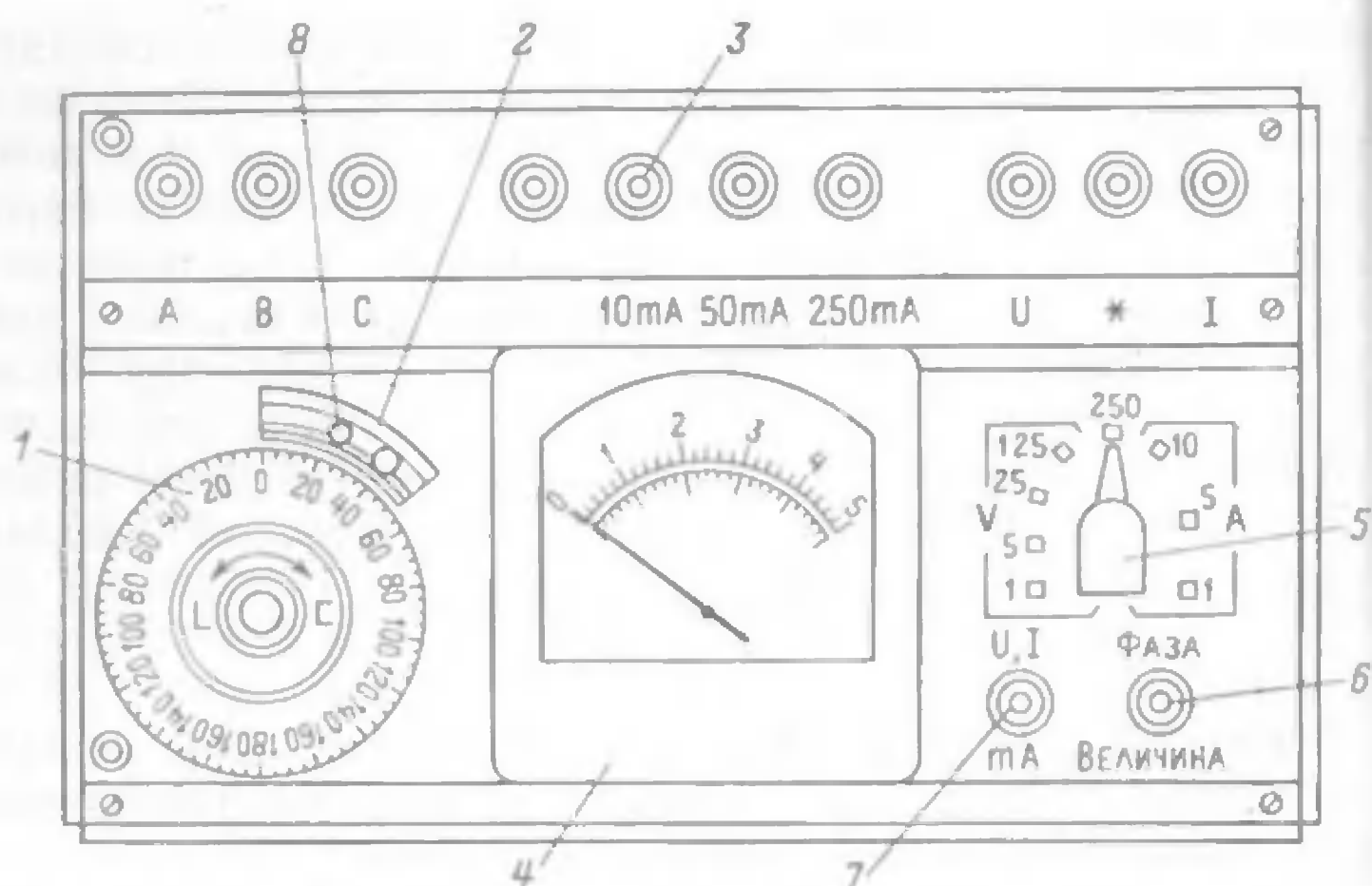


Рис. 26. Внешний вид прибора ВАФ-85М:

1 — лимб фазорегулятора; 2 — подвижная планка; 3 — контактные зажимы; 4 — прибор; 5 — переключатель пределов; 6 — переключатель «фаза—величина»; 7 — переключатель $U—I$; 8 — прижимной винт

док производства измерений приводятся в заводских инструкциях, прилагающихся к прибору.

Универсальный фазоуказатель типа Э-500 предназначен для определения коэффициента мощности, фазового угла между векторами тока и напряжения (Э-500/1) или между векторами напряжения (Э-500/2). Внутреннее сопротивление приборов: Э-500/1 — 0,4 Ом на фазу и Э-500/2 — 1300 Ом на фазу. Погрешность приборов не более $\pm 5\%$. Пример включения прибора при измерении показан на рис. 27.

Измерение частоты производится при проверках и настройке реле частоты (в пределах 45—55 Гц) и высокочастотной аппаратуры каналов связи, устройств телемеханики и системной автоматики. Технические данные приборов, используемых при измерениях, приведены в [2].

Определение чередования фаз в электроустановках. Для правильного подключения электрооборудования к действующим установкам и в некоторых других случаях следует знать чередование фаз включаемого оборудования и действующей установки, к которой оно подключается (см. § 3). Проверяется это с помощью фазоуказателя (рис. 28). Фазы проверяемой системы напряжения

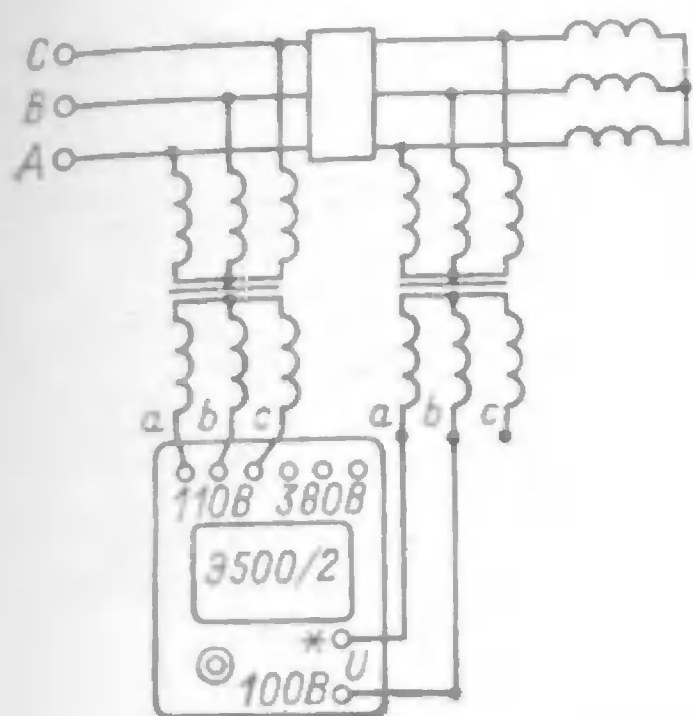


Рис. 27. Определение фазы напряжения относительно напряжения

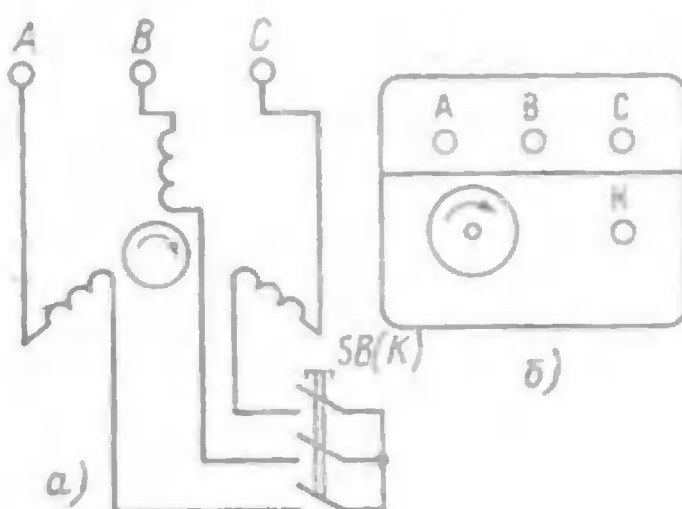


Рис. 28. Принципиальная схема (а) и внешний вид (б) фазоуказателя типа И517

при проверке подключаются к зажимам фазоуказателя в соответствии с маркировкой выводов фазоуказателя. При прямом чередовании ($A - B - C$) и нажатии кнопки SB диск будет вращаться в правую сторону (в направлении стрелки), а при обратном ($A - C - B$) — в левую. Фазоуказатель И517 рассчитан на напряжение от 50 до 500 В и длительность включения не более 3 с. Диапазон частот 40—60 Гц.

Измерение сопротивления постоянному току. Измерение сопротивления в пределах от нескольких ом до 100 Ом (обмоток электродвигателей небольшой мощности, обмоток возбуждения машин постоянного тока, реле и т. п.) производится *одинарными мостами*. Примером одинарных мостов является мост типа ММВ (рис. 29, 30).

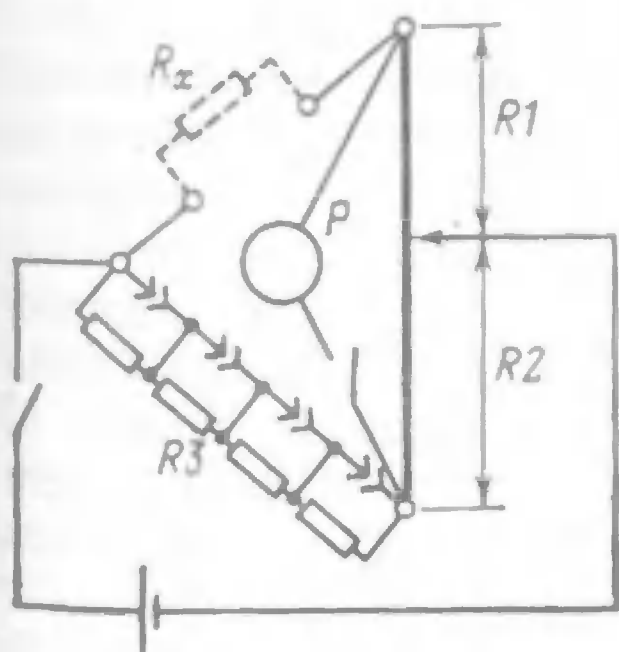


Рис. 29. Схема моста ММВ

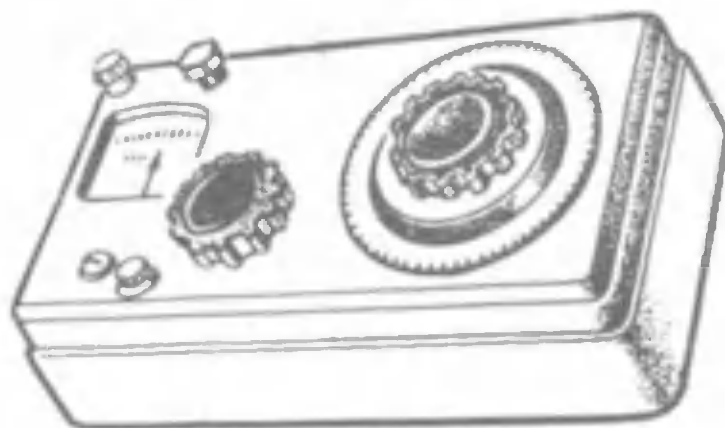


Рис. 30. Внешний вид моста ММВ с реохордом

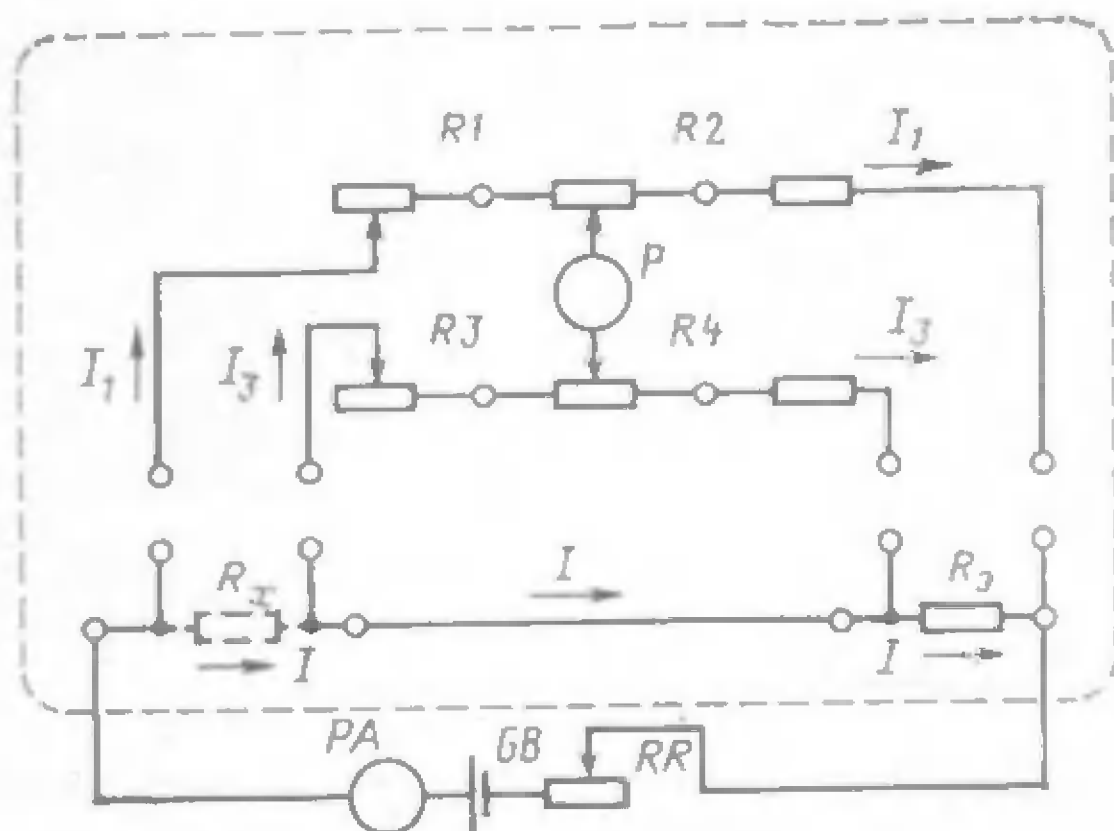


Рис. 31. Принципиальная схема двойного моста:

R_1 — R_4 — сопротивление плеч моста (регулируемые и нерегулируемые); R_x — измеряемое сопротивление; R_3 — эталонное сопротивление; GB — источник постоянного тока; RR — выносной реостат для регулирования тока; P — гальванометр

нашедший широкое применение как прибор для грубых измерений. Пределы измерения 0,5—5000 Ом с погрешностью 1—2 %.

Результат измерения мостом ММВ определяется произведением делений большой (R_1/R_2) и малой (R_3) рукояток, установленных при балансировании моста. Основным недостатком такого моста является то, что в результат измерения входит сопротивление проводов, с помощью которых измеряемое сопротивление присоединяется к прибору. Поэтому одинарным мостом нельзя измерять сопротивление менее 1 Ом.

Сопротивления менее 1 Ом измеряются *двойными мостами*, в которых устранен недостаток одинарных мостов. Принципиальная схема двойного моста показана на рис. 31. Сопротивление проводов в этих мостах не влияет на результат измерения, так как сопротивления плеч моста R_1+R_2 и R_3+R_4 значительно превосходят возможное сопротивление соединительных проводов. По схеме двойного моста устроен МД-6, в настоящее время промышленностью уже не выпускаемый, но еще широко используемый в эксплуатации и в наладке (рис. 32). Мост позволяет производить измерения в пределах 11— 10^{-6} Ом.

Рис. 32. Внешний вид моста МД-6:

НГ — зажимы для присоединения наружного гальванометра; ВГ — встроенный гальванометр; Б — зажимы для батареи; R — реостат для регулирования тока; П — переключатель схемы на встроенный (ВГ) и наружный (НГ) гальванометры; К — кнопка точного балансирования моста; КБ — кнопка, включающая батарею в схему моста; Б — источник постоянного тока 12 В на 40—60 А·ч; R_x — измеряемое сопротивление

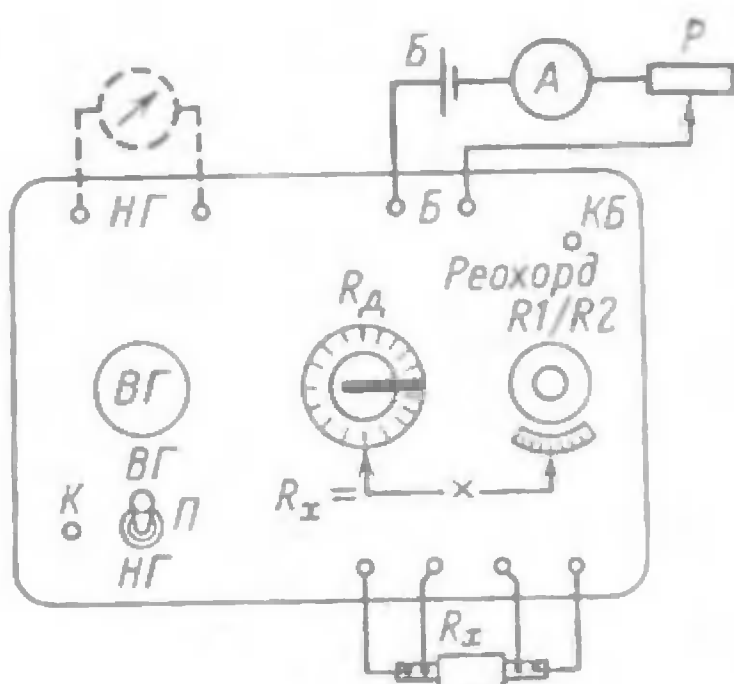
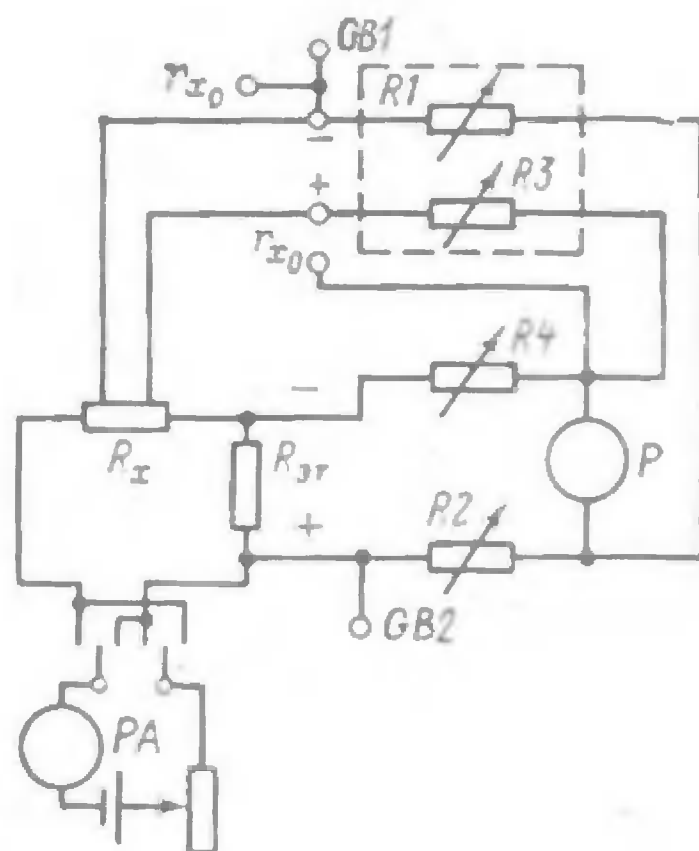


Рис. 33. Схема моста Р329 при использовании его в качестве двойного моста. При использовании в качестве одинарного моста питание подается на GB1, GB2 а измеряемое сопротивление присоединяется к r_{x0} (в этом случае R_4 и R_2 — плечи отношения, R_1 — плечо сравнения)



Мост Р329 (рис. 33), нашедший широкое применение, позволяет производить измерения как по одинарной, так и по двойной схеме. Пределы измерения по одинарной схеме 10^3 — 10^{-3} Ом, по двойной 100 — 10^{-6} Ом.

Мост Р333 представляет собой одинарный мост. Он наиболее широко применяется для измерения сопротивления в пределах $5 \cdot 10^{-3}$ — $999,9 \cdot 10^3$ Ом. Конструктивно мост выполнен так, что позволяет производить измерения более высоких значений сопротивления по двухзажимной схеме (пределы 10 — $333,9 \cdot 10^3$ Ом) и четырехзажимной (пределы $5 \cdot 10^{-3}$ — $9,999$ Ом), в которой почти исключается влияние сопротивления соединительных проводов, так как два из них входят в цепь гальванометра, а другие два — в цепь сопротивлений плеч моста,

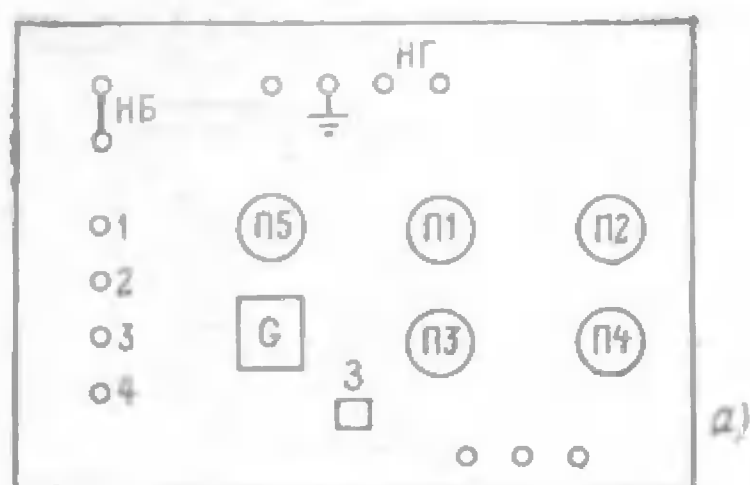
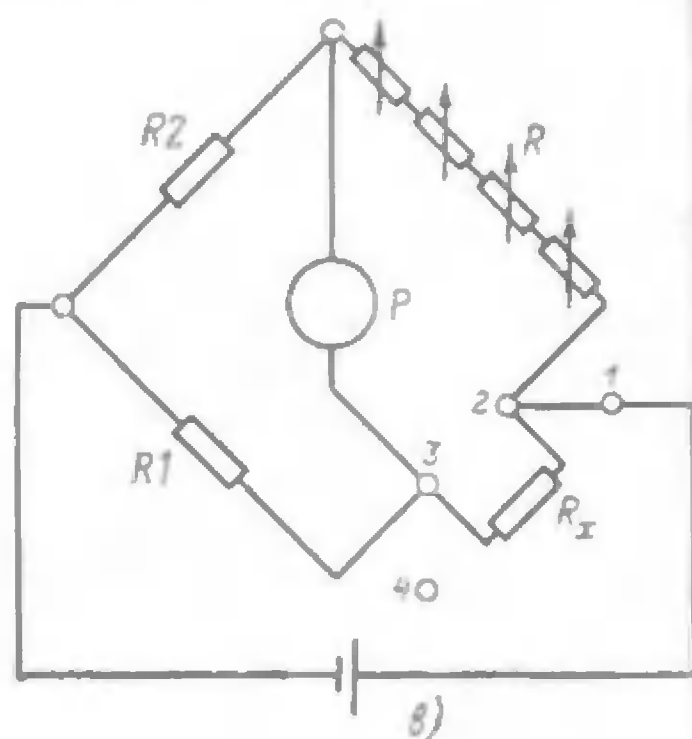
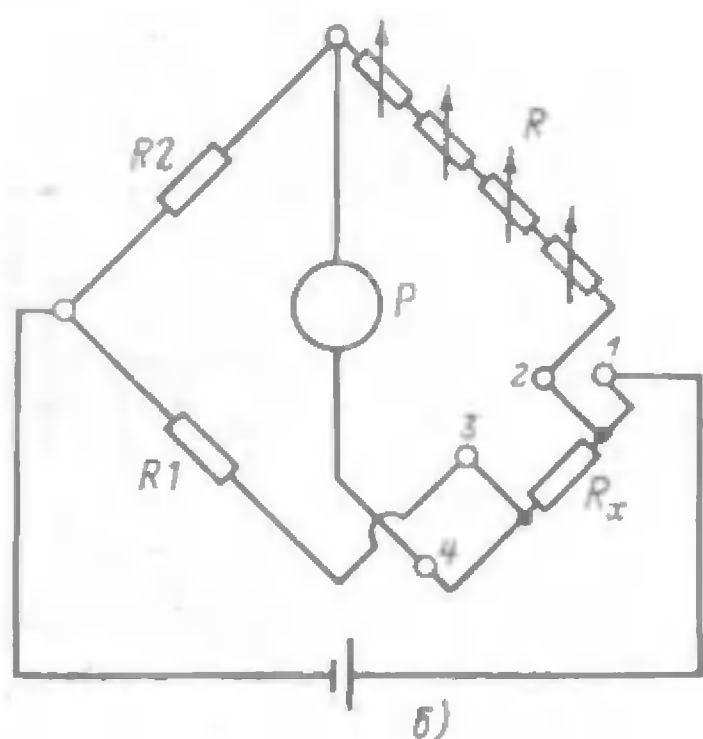


Рис. 34. Внешний вид моста (а) и схемы измерения сопротивления постоянному току (б — четырехзажимная, в — двухзажимная):

R_x — измеряемое сопротивление; R , R_1 , R_2 — сопротивления плеч моста; P — гальванометр; $НБ$ — зажимы для присоединения наружной батареи; $НГ$ — зажимы для присоединения наружного гальванометра; $П1$ — $П4$ — декадные переключатели плеча сравнения; $П5$ — переключатель плеча отношения; 3 — переключатель схемы; G — гальванометр



имеющих сравнительно большие сопротивления. Внешний вид и схемы измерений моста представлены на рис. 34. Класс точности моста 0,5—5 %.

Измерения производятся в последовательности, указываемой в заводской инструкции и на крышке прибора. Кроме измерения сопротивления постоянному току мост Р333 позволяет определять места повреждения кабеля по схемам петель Варлея и Муррея, а также измерять асимметрию проводов.

Измерения сопротивления обмоток, имеющих большую постоянную времени (например, силовых трансформаторов), во избежание колебаний стрелки индикатора производят при питании от постороннего источника постоянного тока, подключаемого к зажимам НБ, и с помощью наружного гальванометра, подключаемого к зажимам НГ. Чувствительность гальванометра должна быть не менее 20 мм на 1 мкА при сопротивлении рамки не более 100 Ом.

Микроомметры. Измерения малых сопротивлений, например сопротивлений паяк якорных обмоток машин постоянного тока, могут производиться микроомметрами типа М246, представляющими собой логометрический прибор с оптическим указателем (рис. 35 и 36, а). Прибор удобен тем, что снабжен специальными самозачинивающимися щупами (рис. 36, б), с помощью которых он плотно прижимается к измеряемому сопротивлению.

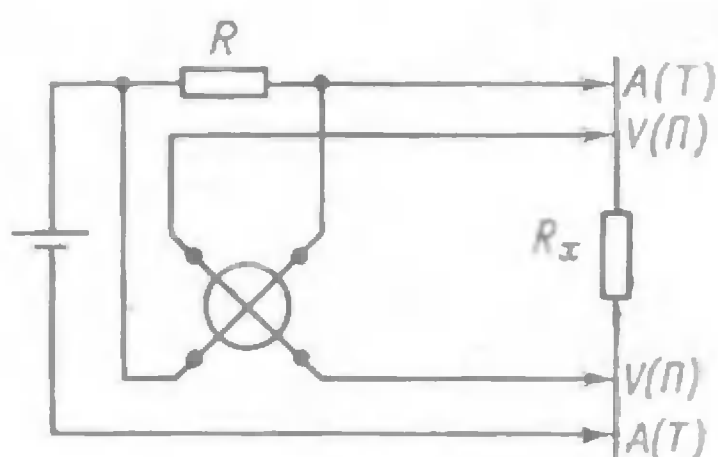
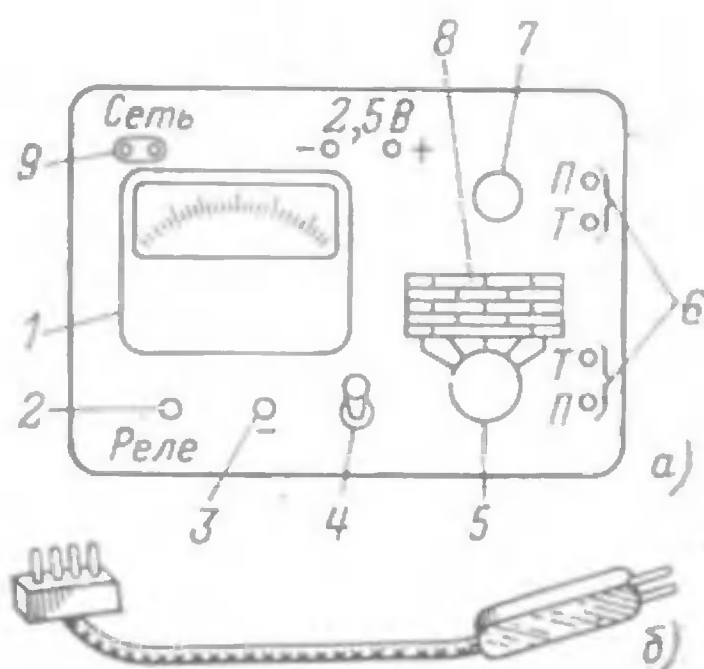


Рис. 35. Принципиальная схема микроомметра М246

Рис. 36. Внешний вид микроомметра М246 (а) и щупов к нему (б):

1 — шкала; 2 — кнопка возврата реле защиты прибора; 3 — предохранители; 4 — выключатель; 5 — переключатель пределов; 6 — зажимы для подключения потенциальных (Π) и токовых (Т) проводников измерительных щупов; 7 — переключатель рода и напряжения источника питания; 8 — таблица пределов измерений; 9 — гнезда для подключения разъема питания прибора от сети переменного тока



Контактомеры. В последнее время широкое применение для измерения малых сопротивлений, в том числе паяк якорных обмоток машин постоянного тока и переходных сопротивлений контактов выключателей, нашли контактомеры, изготавливаемые в энергосистемах. На рис. 37 представлен прибор, который позволяет производить измерения в пределах 0—50 000 мкОм с погрешностью менее 1,5 %. Прибор снабжен щупами с маркированными наконечниками [$A(I)$ — токовый, $V(\Pi)$ — потенциальный]. Наладочным управлением ССО «Электро-монтаж» Минэнерго СССР разработан предназначенный для измерения переходных сопротивлений контактов коммутационной аппаратуры с номинальным напряжением до 500 кВ прибор М-1. Питание прибора может осуществляться от сети переменного тока и от встроен-

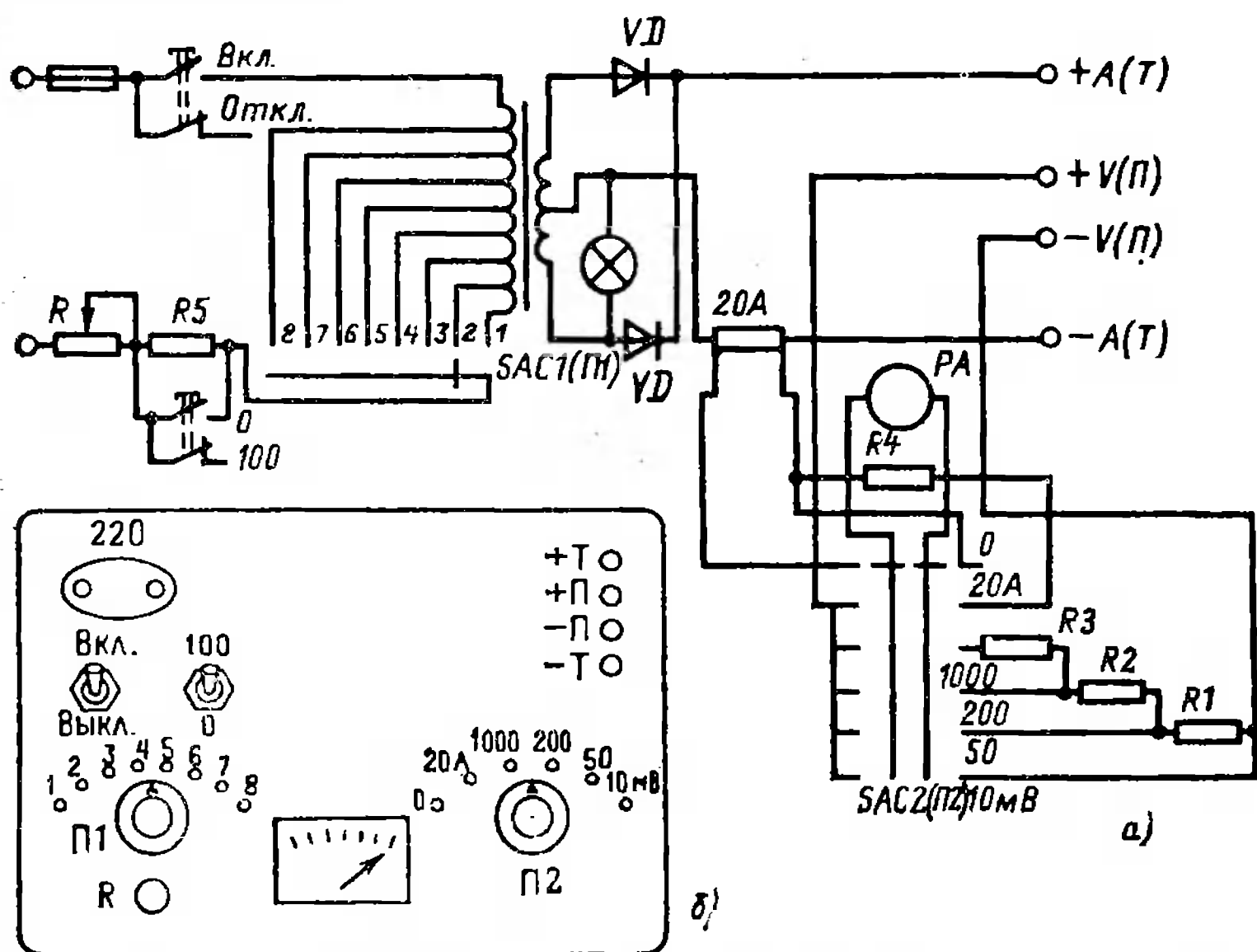


Рис. 37. Контактмер для измерения сопротивления контактов выключателей изготовления Мосэнерго:

а — принципиальная схема; б — внешний вид прибора

ных сухих элементов. Прибор снабжается специальными проводами, позволяющими производить измерения контактов с земли вблизи оборудования [2]. Он измеряет падение напряжения на измеряемом объекте, но отградуирован в микроомах благодаря тому, что ток, равный 1 А, поддерживается при измерении постоянным.

Для проверки качества паяк стержней обмоток электрических машин используется прибор ИВ-3М [2].

Измерения сопротивления постоянному току малых значений (обмоток силовых трансформаторов, генераторов) могут производиться с большой точностью при помощи потенциометров постоянного тока, в которых используется принцип компенсационного метода измерения.

При этом методе измеряемая ЭДС определяется уравновешиванием ее с известным падением напряжения

$$E_x = I_p R_k,$$

где E_x — измеряемая ЭДС; I_p — известный рабочий ток, вызывающий падение напряжения в компенсационном

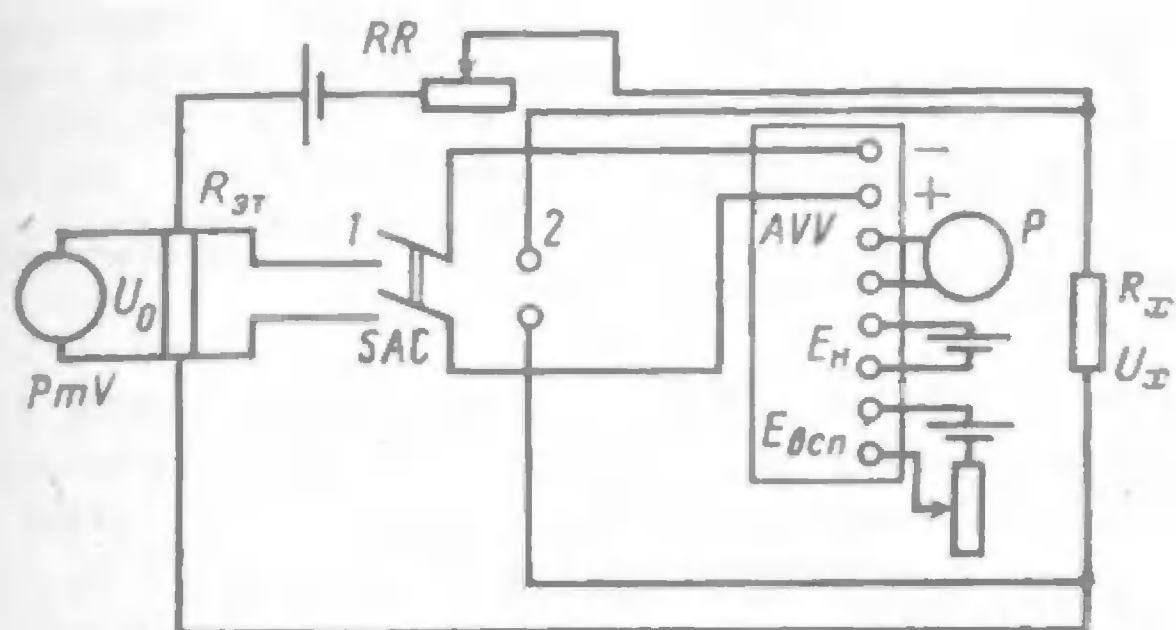


Рис. 38. Измерение сопротивления постоянному току компенсационным методом

сопротивлении; R_x — точно регистрируемое (компенсационное) сопротивление, по которому проходит рабочий ток I_p .

Одна из возможных принципиальных схем для измерения компенсационным методом представлена на рис. 38. Измерения по этой схеме производятся следующим образом. Устанавливается (до полного успокоения стрелки) с помощью резистора RR ток, падение напряжения от которого на $R_{эт}$ соответствовало бы пределам измерений потенциометра. В положении 1 переключателя SAC измеряется падение напряжения U_0 на эталонном резисторе $R_{эт}$. В положении 2 переключателя SAC измеряется падение напряжения U_x на измеряемом резисторе R_x . Измеряемое сопротивление определяется из выражения

$$R_x = R_{эт} \frac{U_x}{U_0}.$$

При измерениях используются потенциометры типов ПП-63 и КП-59 (пределы измерения 0—100 мВ). Порядок измерения излагается в заводских инструкциях, прилагаемых к каждому прибору.

Достаточно распространенным методом измерения является метод амперметра — вольтметра. Этим методом пользуются при измерении малых сопротивлений, несмотря на то что точность измерения в этом случае значительно уступает точности измерения двойным мостом. Схема измерения показана на рис. 39. Приборы, используемые при таком методе измерения, должны иметь класс точности не менее 0,2. Вольтметр подключается непосредственно к измеряемому сопротивлению от-

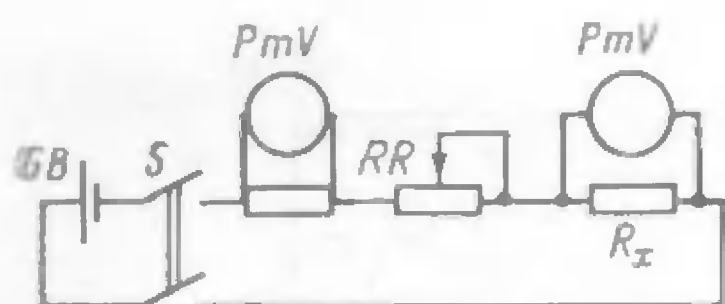


Рис. 39. Схема измерения сопротивления постоянному току методом амперметра — вольтметра:

RR — регулировочный реостат; R_x — измеряемое сопротивление; S — рубильник; GB — аккумуляторная батарея

дельными проводниками. Ток при измерениях должен быть таким, чтобы показания приборов отсчитывались во второй половине шкалы. В соответствии с этим выбирается и шунт, применяемый для возможности измерения тока прибором класса точности 0,2. Измерение производится при нескольких значениях тока (не менее 3—5). За результат принимается среднее значение сопротивления, Ом, подсчитываемое по формуле

$$R = \frac{U_1}{I_1} + \frac{U_2}{I_2} + \dots + \frac{U_n}{I_n},$$

где $U_1, U_2, \dots, U_n$; $I_1, I_2, \dots, I_n$ — напряжения, В, и токи, А, соответствующие произведенным измерениям; n — количество произведенных измерений.

При измерениях сопротивления постоянному току обмоток, имеющих значительную индуктивность, прежде чем разрывать цепь тока, разрывают цепь напряжения. В противном случае возможно резкое отклонение стрелки прибора и его повреждение. Из-за индуктивности ток, необходимый для измерения, устанавливается не сразу, а по истечении времени, зависящего от постоянной времени обмоток $T = L/R$. Измерения производят только после полного успокоения стрелок.

Малые значения сопротивления постоянному току переходных сопротивлений различных контактов удобно оценивать не измерением их сопротивления, а измерением падения напряжения на участках одинаковой длины ошиновки, не имеющих и имеющих контактное соединение при одном и том же токе. Если падение напряжения на участке с контактным соединением ненамного отличается от падения напряжения на участке без соединения, то это является признаком удовлетворительного состояния контакта.

Температурный пересчет измеренного сопротивления. Измерения сопротивления постоянному току независимо от метода производят при установившемся тепловом режиме, при котором температура окружающей среды отличается от температуры измеряемого объекта не более

чем на $\pm 3^\circ\text{C}$. Приведение измеренного сопротивления к необходимой температуре для последующего сравнения производится по формулам

$$\text{для меди } R_2 = R_1 \frac{235 + T_2}{235 + T_1};$$

$$\text{для алюминия } R_2 = R_1 \frac{245 + T_2}{245 + T_1},$$

где R_2 — сопротивление, соответствующее температуре T_2 ; R_1 — сопротивление, соответствующее температуре T_1 ; 235 и 245 — постоянные коэффициенты.

Обычно для удобства сравнения полученные результаты измерений приводят к температуре 15°C .

Измерение емкости и индуктивности. Емкость вводов, конденсаторов связи, обмоток трансформаторов, а в некоторых случаях и силовых конденсаторов определяется при измерении тангенса угла диэлектрических потерь мостами МД-16, Р595, Р5026. Однако иногда требуется измерить емкость, превышающую пределы измерения мостами, или при отсутствии указанных мостов. В этих случаях измерения емкости производятся универсальными мостами или, если можно пренебречь потерями в конденсаторе, методом амперметра и вольтметра на переменном токе и последующим пересчетом по формуле $C_x = I / (U 2\pi f)$.

Аналогично измерению емкости производятся и измерение индуктивности мостами или измерением тока и напряжения и последующим расчетом.

Измерение времени

Измерения производятся с помощью электрических секундомеров. Наибольшее распространение получили лабораторные переносные электрические секундомеры типов ПВ-53Л (рис. 40) и П14-2М (рис. 41), позволяющие производить измерения в следующих пределах: ПВ-53Л 0—10 с с погрешностью не более $\pm 0,05$ с; П14-2М 0—10 мин.

Секундомер ПВ-53Л представляет собой вибрационное устройство на базе поляризованного реле. Зажимы K и $*$ секундомера ПВ-53Л используются для шунтирования обмотки электромагнита LRT при остановке секундомера в процессе измерения, зажимы 110 и 220 — для питания и запуска прибора при измерениях, а резисторы R — для ограничения тока при шунтировании об-

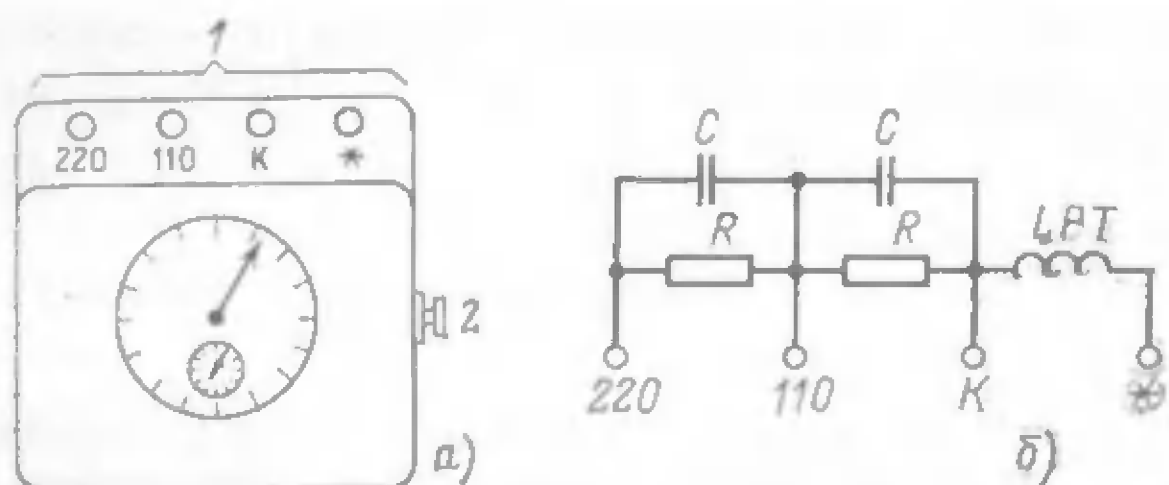


Рис. 40. Внешний вид (а) и принципиальная схема (б) секундомера ПВ-53Л:

1 — зажимы для подключения; 2 — кнопка возврата стрелок на нуль; R — встроенные резисторы; LPT — обмотка секундомера; C — конденсатор

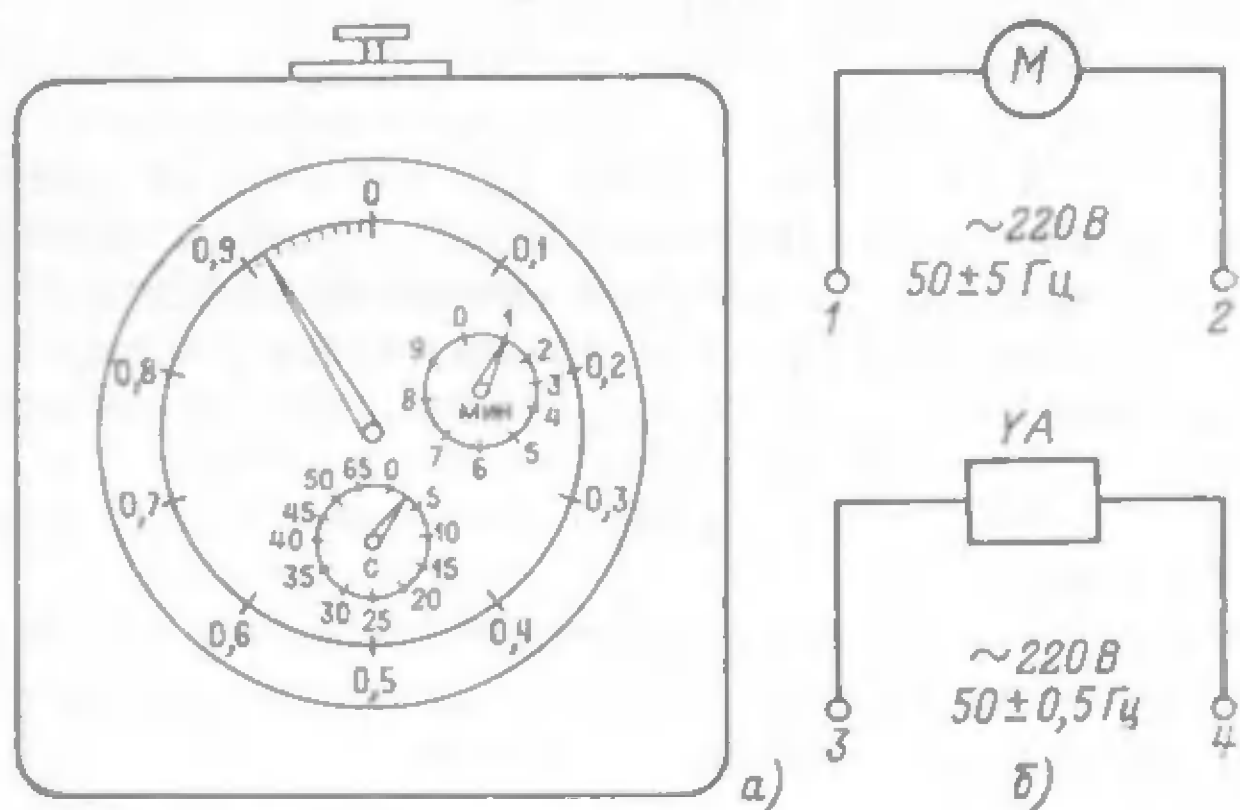


Рис. 41. Внешний вид (а) и принципиальная схема (б) секундомера типа П14-2М:

M — электродвигатель; YA — электромагнит

мотки RLT . Примеры измерения времени работы контактов различных реле (устройств) с помощью секундомера ПВ-53Л показаны на рис. 42.

При замыкании рубильника подается напряжение (ток) одновременно на реле (устройство) и секундомер. Как только замкнутся контакты реле, секундомер остановится, показав на шкале времени время замыкания (размыкания) контактов после подачи на реле напряжения. Перед измерением и после него следует с помощью кнопки возврата установить стрелки на нуль. Измерение времени складывается из показаний малой и большой стрелок.

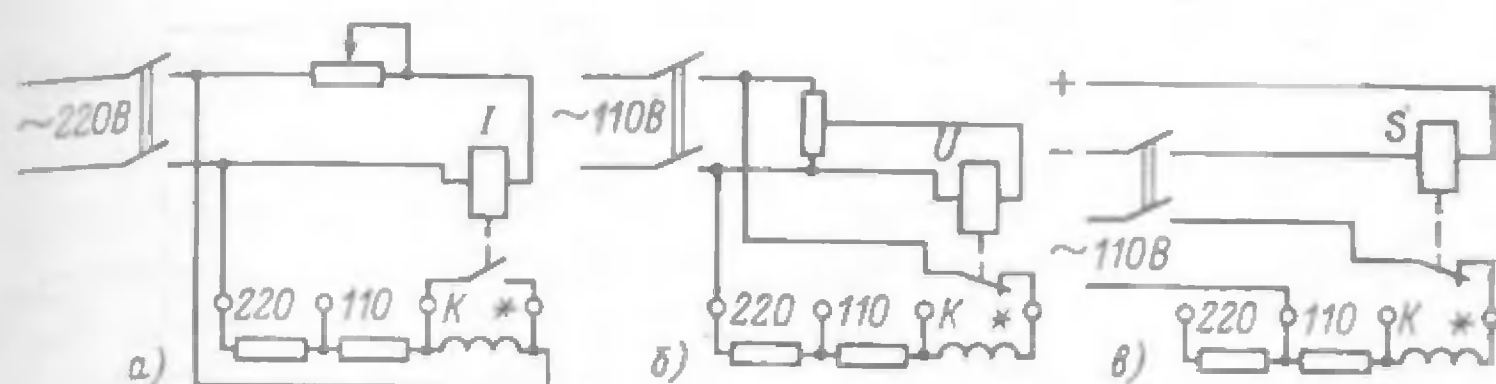


Рис. 42. Схема измерения времени реле (устройств) с помощью секундомера типа ПВ-53Л или ПМ-2М:

а — с замыкающими контактами; б — с размыкающими; в — с контактами времени

Секундомер ПМ-2М представляет собой электро-механический прибор с электродвигателем, запускаемым подачей напряжения на зажимы 1—2 (см. рис. 41), а по истечении некоторого времени — на 3 и 4 и останавливаемый снятием напряжения.

Часто требуется измерять время, исчисляемое в миллисекундах. В этих случаях измерения производятся с помощью миллисекундомеров, например, типа ЭМС-54.

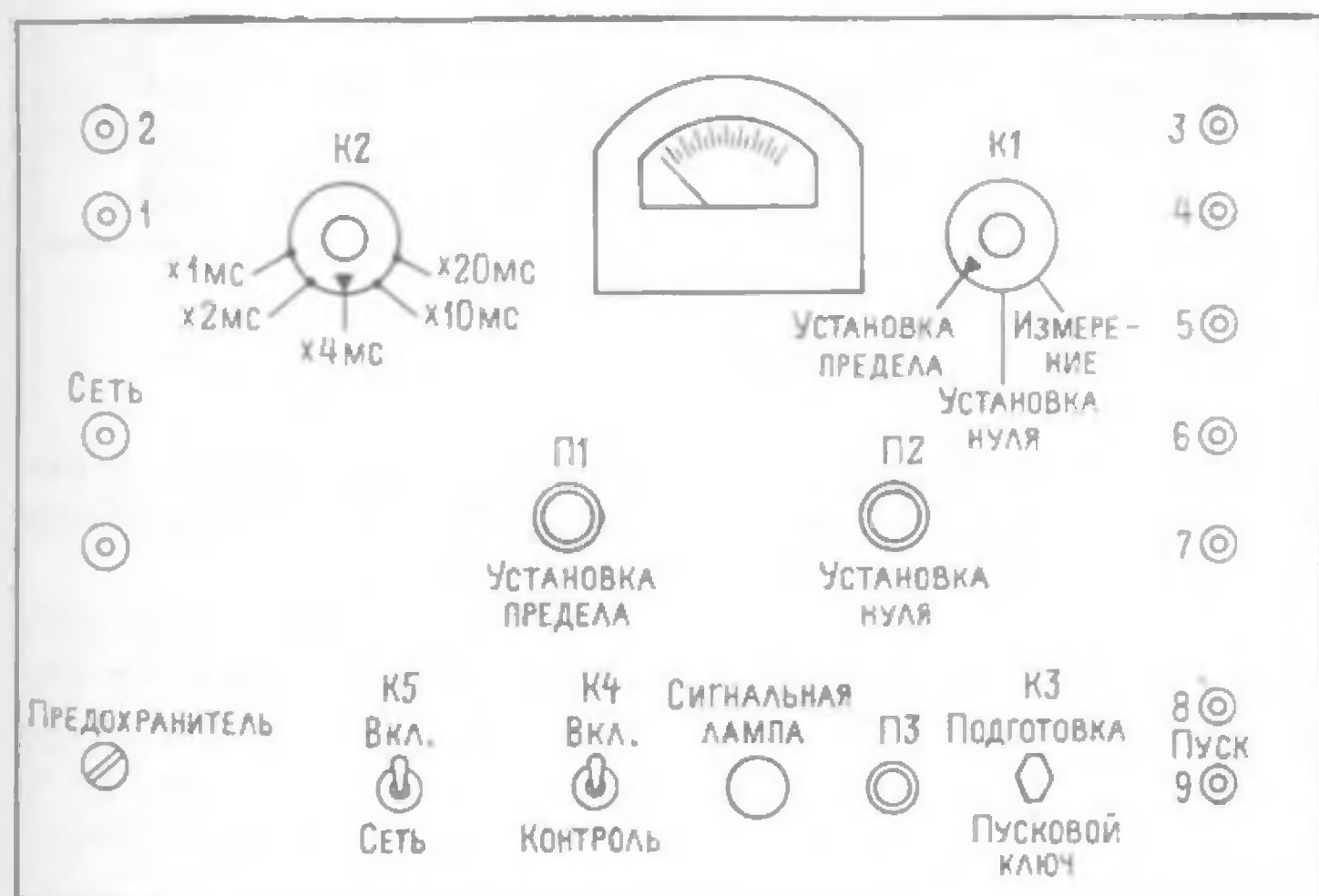


Рис. 43. Внешний вид миллисекундомера ЭМС-54

Пределы измерения прибора 5—500 мс; погрешность не превышает $\pm 5\%$ номинального значения шкалы на всех пределах. Внешний вид прибора представлен на рис. 43. В качестве примера на рис. 44 приведена схема измерений времени срабатывания реле с замыкающими и раз-

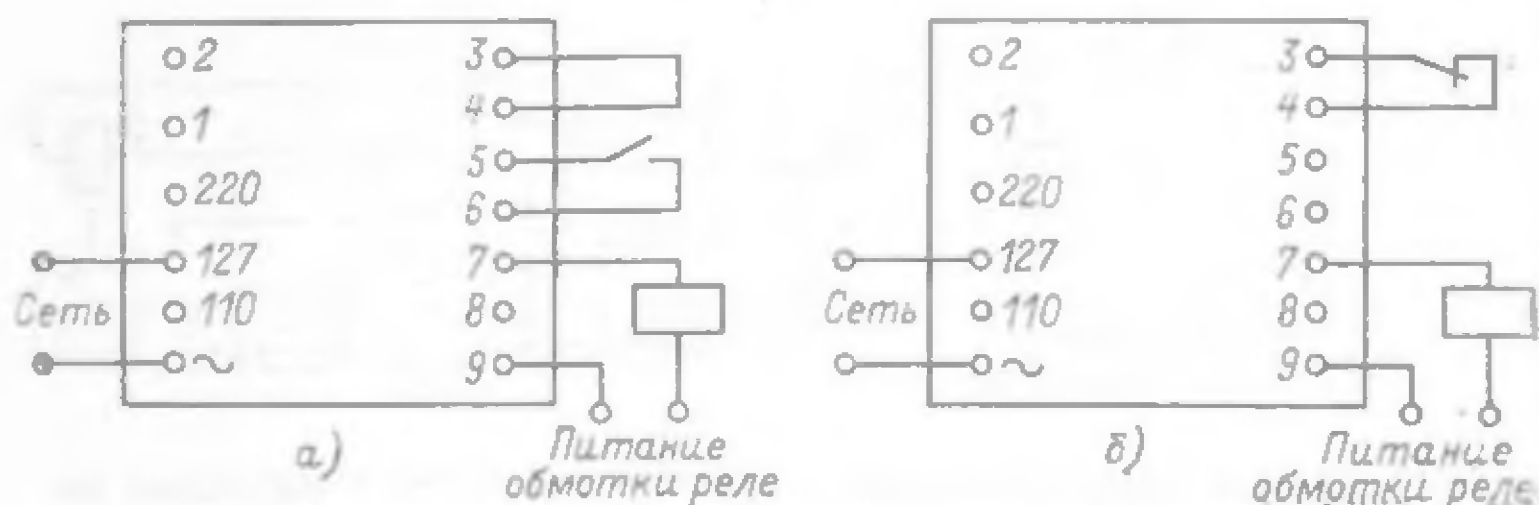


Рис. 44. Схема измерения времени срабатывания реле с замыкающими (а) и размыкающими (б) контактами

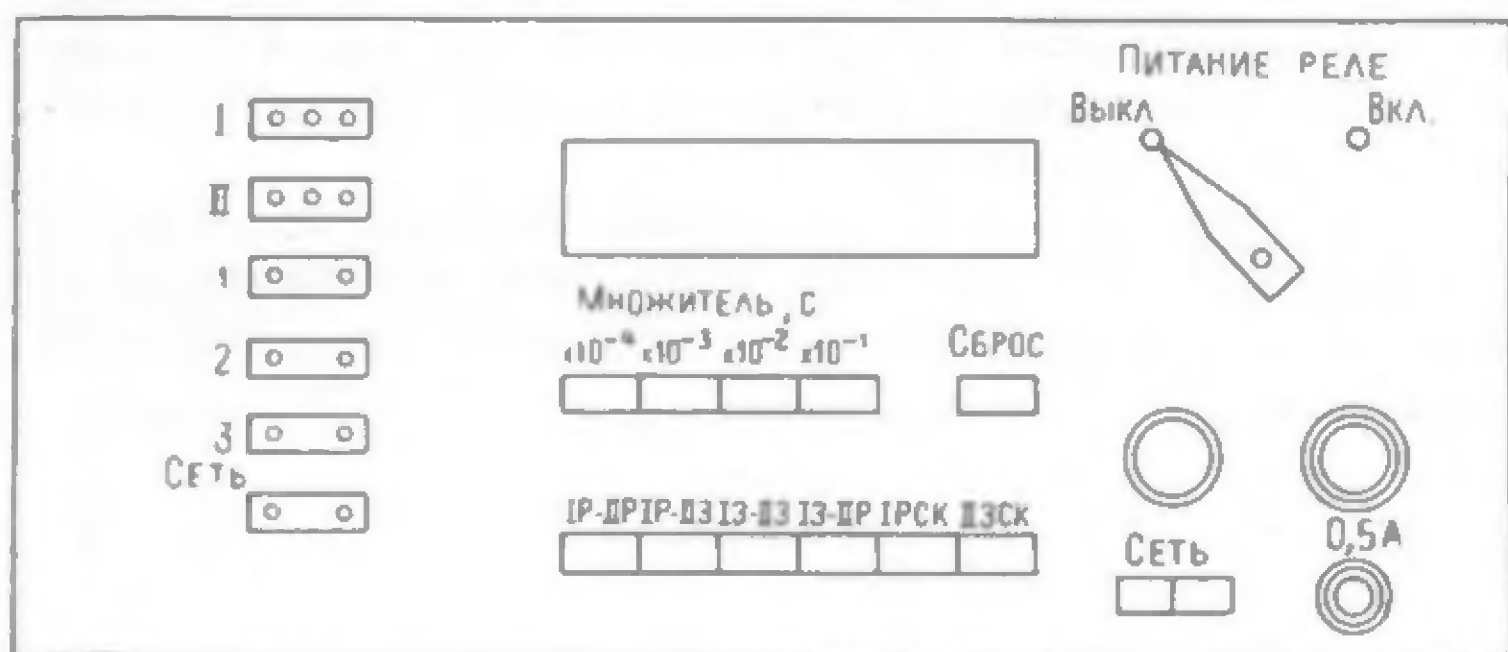


Рис. 45. Внешний вид прибора Ф-738

мыкающими контактами. Измерения производятся в последовательности, указываемой в прилагаемой к прибору заводской инструкции.

В последнее время нашел широкое применение выпускаемый промышленностью измеритель временных параметров реле типа Ф-738 [2]. Измеритель предназначен для измерения времени срабатывания различных реле и замыкания или размыкания его контактов или разности времен срабатывания любой комбинации двух пар замыкающих и размыкающих контактов при срабатывании реле. Пределы измерения 1 мс — 10 с на четырех поддиапазонах. Прибор имеет цифровой отсчет. Напряжение питания 127/220 В. Внешний вид прибора представлен на рис. 45.

Измерение температуры

Измерение температуры производится с помощью *ртутных или спиртовых термометров, терморезисторов и термопар*. При измерениях температуры в зоне влияния магнитных полей во избежание погрешностей за счет потерь в ртути от вихревых токов применяются спиртовые термометры. При измерениях температуры часто используются термопары и терморезисторы, закладываемые в оборудование при его изготовлении на заводе и предназначенные для контроля во время эксплуатации. Показания их соответствуют разности температур *горячего* (точки измерения) и *холодного* (помещения, в котором находятся прибор и переключатель измерений) *сплав*. Заводские термопары изготавливаются в комплекте с одним прибором. Принципиальная схема измерения температуры с помощью терморезисторов показана на рис. 46. В схеме с гальванометром предусматривается возможность регулирования тока в цепи питания (RR) при настройке прибора. В схеме с логометром этого не требуется, но осуществляется компенсация сопротивления соединительных приборов с помощью уравнительного резистора 3.

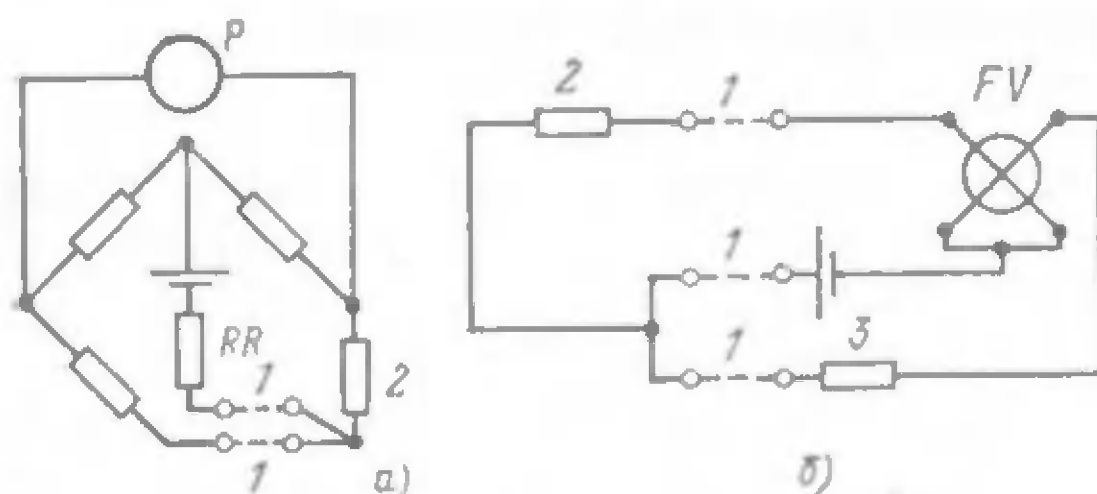


Рис. 46. Схемы измерения температуры с помощью терморезисторов: а — с использованием гальванометра; б — с использованием логометра; 1 — соединительные провода; 2 — терморезистор; 3 — уравнительный регулировочный резистор; RR — регулировочный резистор

Определение температуры обмоток силовых трансформаторов, генераторов при их нагреве в условиях монтажа может производиться измерением сопротивления постоянному току. Температура в этом случае определяется по формуле

$$T_{\text{гор}} = \frac{R_{\text{гор}} - R_{\text{хол}}}{R_{\text{хол}}} (235 + T_{\text{хол}}) + T_{\text{хол}},$$

где $R_{гор}$ — сопротивление постоянному току обмотки при температуре измерения $T_{гор}$; $R_{хол}$ — сопротивление постоянному току обмотки при исходной температуре $T_{хол}$; 235 — постоянный коэффициент для меди.

Осциллографирование

Осциллографирование электрических процессов широко применяется при оценке состояния оборудования. Область применения различных типов осциллографов в зависимости от вида проверки и измерений и их технические данные приводятся в [2].

Однолучевые осциллографы позволяют измерять амплитуду, частоту, временной интервал, фазовый сдвиг, наблюдать электрический процесс. К ним относятся осциллографы типов С1-19, С1-22, С1-5, ЛО-70. Двухлучевые осциллографы позволяют, кроме того, наблюдать и производить измерения одновременно двух электрических процессов с фотографированием их (С1-17, С1-18).

Шлейфовые осциллографы (Н-105) позволяют одновременно производить наблюдение и запись на пленку или фотобумагу электрических процессов.

Измерения, определяющие состояние изоляции

Измерения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции производятся с помощью мегаомметров. Широко используются для этого мегаомметры типов М4100/1 — М4100/5, МС-05 с номинальным напряжением 100, 250, 500, 1000, 2500 В, электронные мегаомметры типа Ф4001 с номинальным напряжением 100, 500, 1000 В и Ф4100 на 2500 В, а также Ф4102.

Измерения производятся по схемам, приведенным на рис. 47—49. Когда на результат измерения возможно влияние поверхностных токов утечек, на изоляцию проверяемого объекта накладывают электрод, присоединяемый к зажиму Э (экран) для исключения возможности прохождения токов утечки через логометр, используемый в мегаомметре в качестве измерительного органа. При измерении сопротивления изоляции между жилами кабеля таким экраном может служить металлическая оболочка кабеля.

Перед началом измерения мегаомметр проверяется

замыканием зажимов $З$ и $Л$ накоротко, при этом стрелка прибора при подаче на него напряжения (Ф4100 — Ф4102) или при вращении рукоятки (нормально — 120 об/мин) мегаомметров типов М4100, МС-05 должна устанавливаться против деления шкалы 0, при удалении же закоротки — против деления ∞ . Перед измерением объект измерения заземляют на 2—3 мин для снятия остаточных зарядов, которые могут повлиять на результат измерения.

Измерение абсолютного значения сопротивления изоляции производится присоединением с помощью специального провода с усиленной изоляцией (например, типа ПВЛ) токоведущей части проверяемого объекта к выводу $Л$ мегаомметра. Вывод $З$ при этом и корпус оборудования надежно заземляются через общий контур заземления. Сопротивление изоляции $R_{из}$ определяется пока-

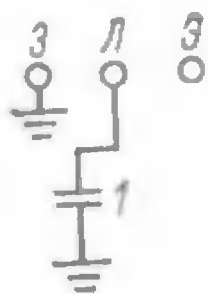


Рис. 47. Схема измерения мегаомметром сопротивления изоляции

1 — относительно земли

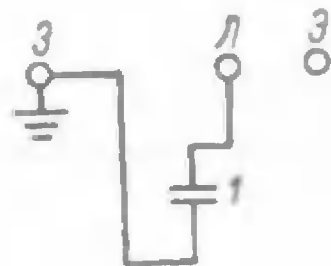


Рис. 48. Схема измерения мегаомметром сопротивления изоляции 1 между токопроводящими жилами (стержнями)

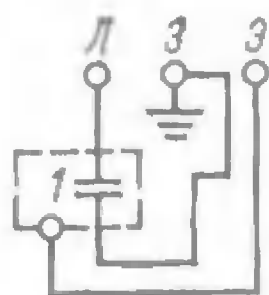


Рис. 49. Схема измерения мегаомметром сопротивления изоляции 1 между токопроводящими жилами при исключении влияния токов утечки

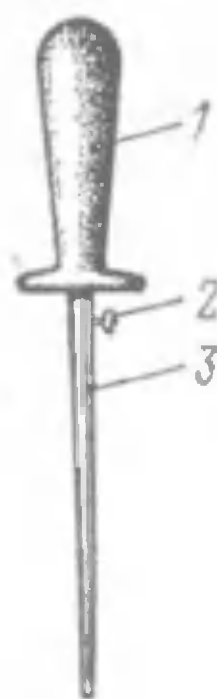


Рис. 50. Щуп для измерения $R_{из}$ мегаомметром:

1 — ручка из изоляционного материала (эбонита, текстолита, стекла и т. п.); 2 — зажим для присоединения провода от зажима $Л$ мегаомметра; 3 — металлическое лезвие щупа

занием стрелки мегаомметра, установившейся по истечении 60 с после подачи на прибор нормального напряжения.

При измерении коэффициента абсорбции $K_{абс}$ рекомендуется для точности измерения сначала обеспечить на приборе нормальное напряжение, а потом быстро приложить вывод к заранее зачищенному месту токоведущей части измеряемого объекта и только после этого начинать отсчет времени. Первое показание прибора фиксируется через 15 с после начала измерения, второе — через 60 с. За результат измерения принимается отношение обоих измерений.

Измерения удобно производить с помощью щупов (рис. 50). При измерениях должны строго соблюдаться осторожность и все правила техники безопасности, так как напряжение мегаомметра опасно для жизни человека. После измерения следует разрядить объект измерения.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь и степени увлажненности изоляции. Тангенс угла диэлектрических потерь является важной характеристикой изоляции трансформаторов и вводов высокого напряжения. Обычно он выражается в процентах.

Значение $\operatorname{tg} \delta$ нормируется для каждого вида оборудования и зависит от температуры и значения прикладываемого напряжения.

Для электрических машин измерение $\operatorname{tg} \delta$ не нашло применения. Измерение производится мостами Р5026, МД-16 и Р595 на напряжении 10 кВ и ниже. В мостах используется *принцип Шеринга* (рис. 51) исходя из последовательного соединения емкости и активного сопротивления в схеме замещения диэлектрика. Для такой схемы

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R_x}{X_{C_x}} = \omega R_x C_x.$$

При равновесии моста имеет место равенство

$$\omega R_x C_x = \omega R_4 C_4.$$

Для простоты и удобства измерения значение R_4 в мостах МД-16 выбрано равным $10\,000/\pi = 3184$ Ом. В этом случае при равновесии моста $\operatorname{tg} \delta$ легко определя-

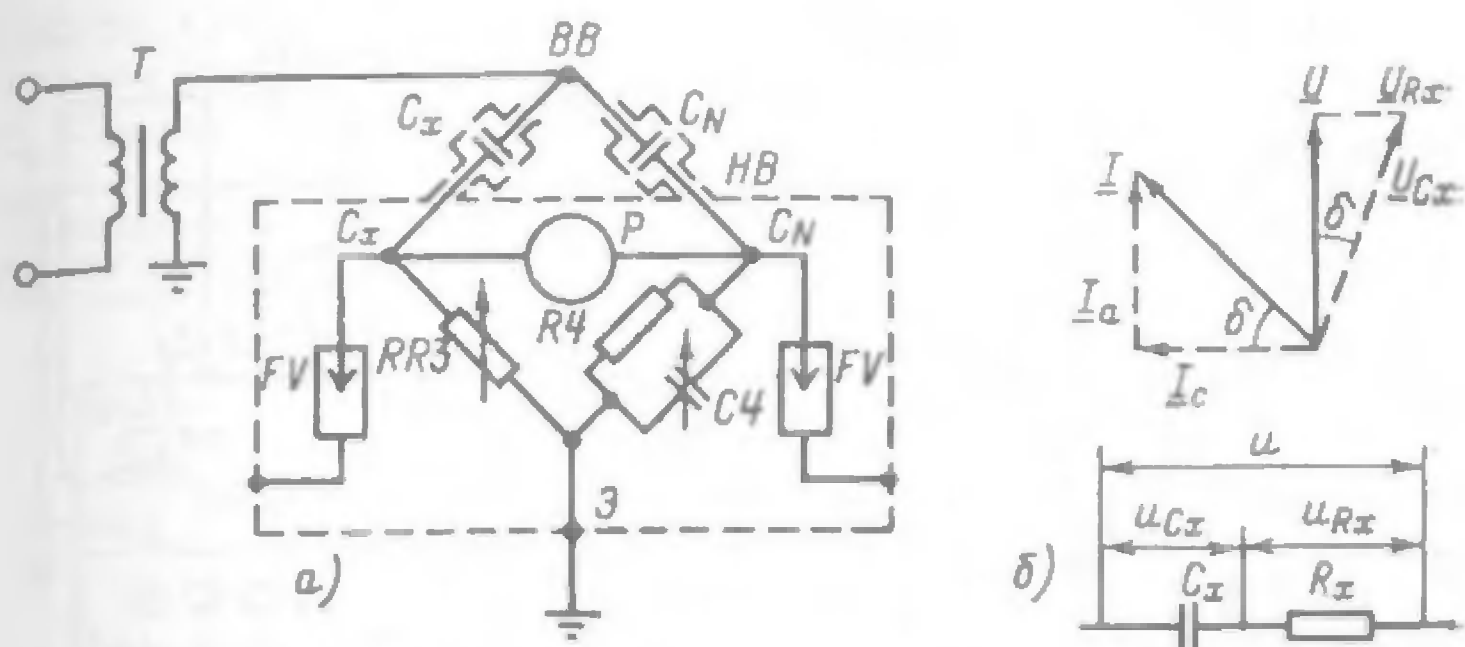


Рис. 51. Принципиальная схема моста типов Р5026, МД-16 и Р595 (а) и эквивалентная схема замещения диэлектрика (б):

T — испытательный трансформатор; R_x , C_x — испытуемые объекты; C_N — образцовый конденсатор; P — гальванометр; $RR3$ — регулируемый резистор; $R4$ — постоянный резистор; $C4$ — магазин емкостей; $\mathcal{E}$ — вывод экрана; FV — разрядники; BB — вывод высокого напряжения образцового конденсатора, к которому подсоединяется при сборке схемы вывод C_N моста; C_x — вывод моста, к которому подсоединяется при сборке схемы испытуемый объект; U , U_{R_x} , U_{C_x} — полное напряжение и его составляющие на испытуемом объекте; I , I_a , I_c — ток полный и его составляющие испытуемого объекта

ется из выражения

$$\operatorname{tg} \delta = 2\pi f \frac{10\,000}{4} C_4 \cdot 10^{-6} = C_4.$$

На рис. 52 и 53 представлены схемы включения мостов Р5026 и МД-16.

В схеме рис. 52, а высокое напряжение от вспомогательного трансформатора подается на токоведущий вывод проверяемого объекта, что соответствует *нормальной схеме измерения*. В отличие от этой схемы существует *перевернутая схема измерения $\operatorname{tg} \delta$* , в которой зажимы моста для заземления и подачи высокого напряжения меняются местами. Перевернутая схема менее точна и потому применяется только в тех случаях, когда нормальная неприменима, например в случае, когда один из выводов аппарата заземлен (вводы, установленные на аппарате, силовые трансформаторы).

Любые измерения мостами производятся с полным соблюдением правил техники безопасности. Для обеспечения точности измерения мост и вспомогательная аппаратура, требующаяся для измерения, располагаются в непосредственной близости от проверяемого объекта

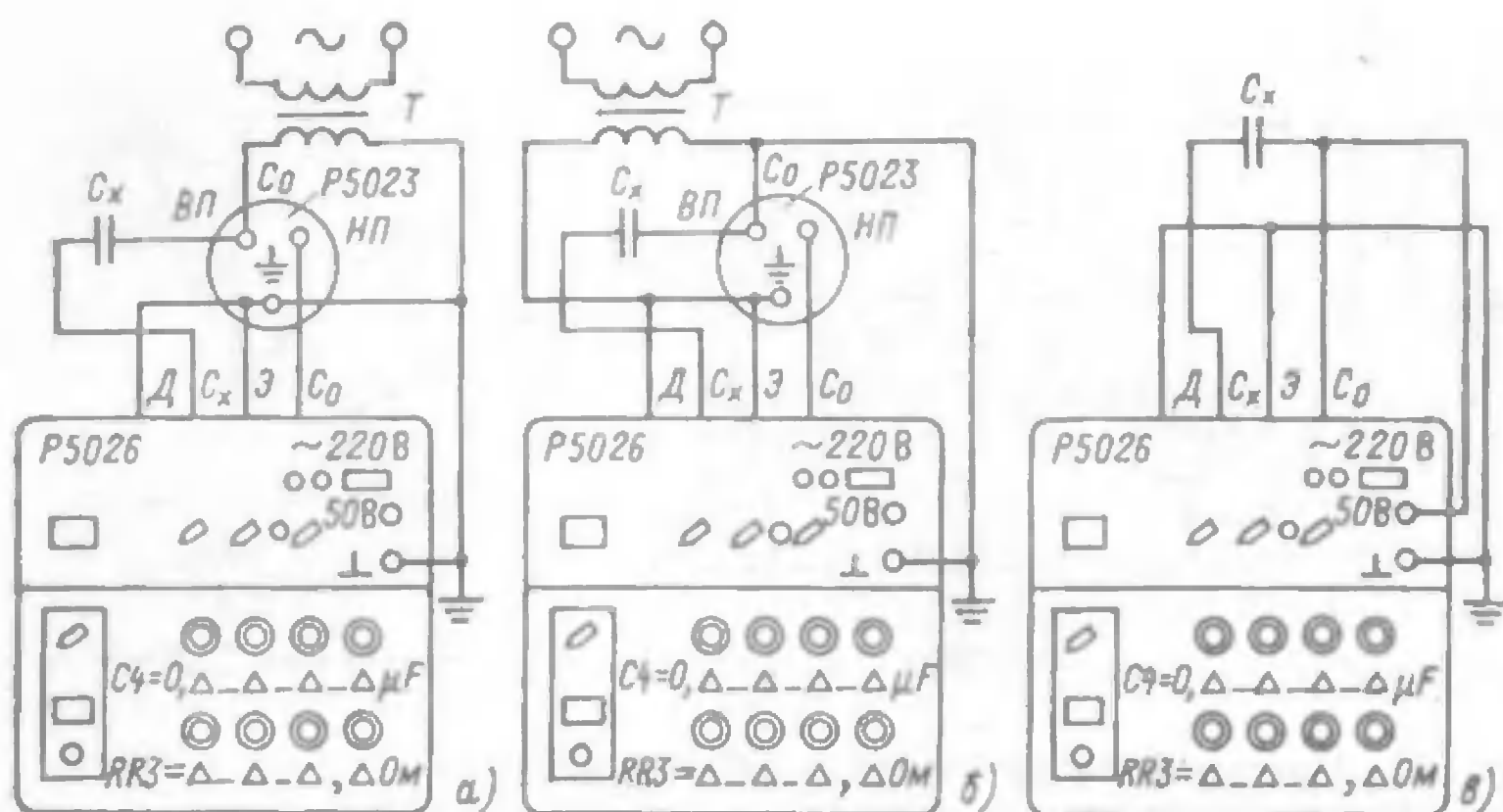


Рис. 52. Включение моста P5026 при измерениях:

а — по нормальной схеме; б — по перевернутой схеме; в — на низком напряжении

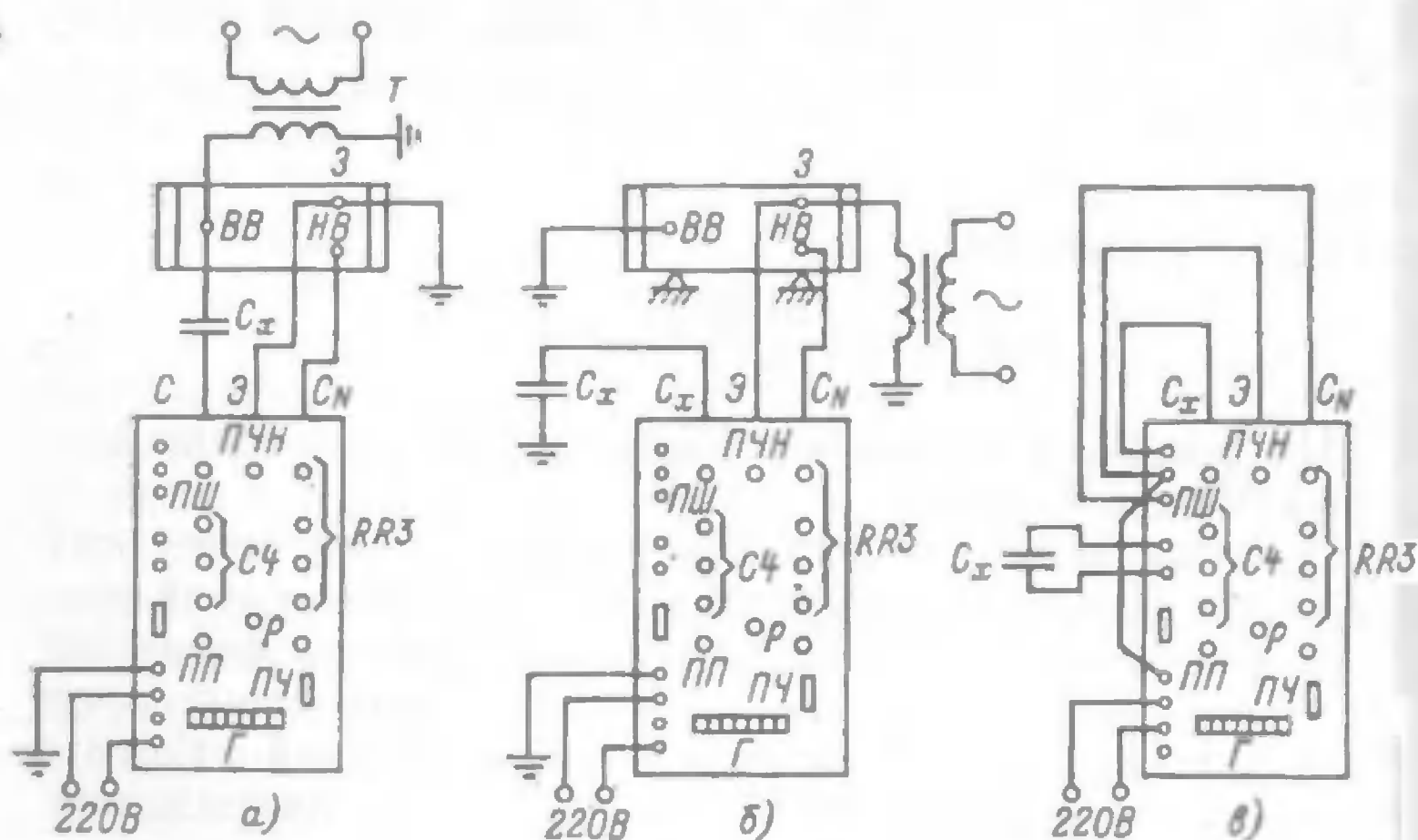


Рис. 53. Включение моста МД-16 при измерениях:

а — по нормальной схеме; б — по перевернутой схеме; в — на низком напряжении

(рис. 54). В качестве испытательного трансформатора используются обычно трансформаторы напряжения типа НОМ-10 или НОМ-6, при этом подключается он по схеме рис. 55. Измерения $\operatorname{tg} \delta$ аппаратов с номинальным напряжением менее 6 кВ производят на напряжении 220—

Рис. 54. Схема расположения аппаратов при измерении:

C_x — объект измерения; C_N — образцовый конденсатор; T — испытательный трансформатор; P — мост; TUV — регулировочный автотрансформатор; O — переносное ограждение

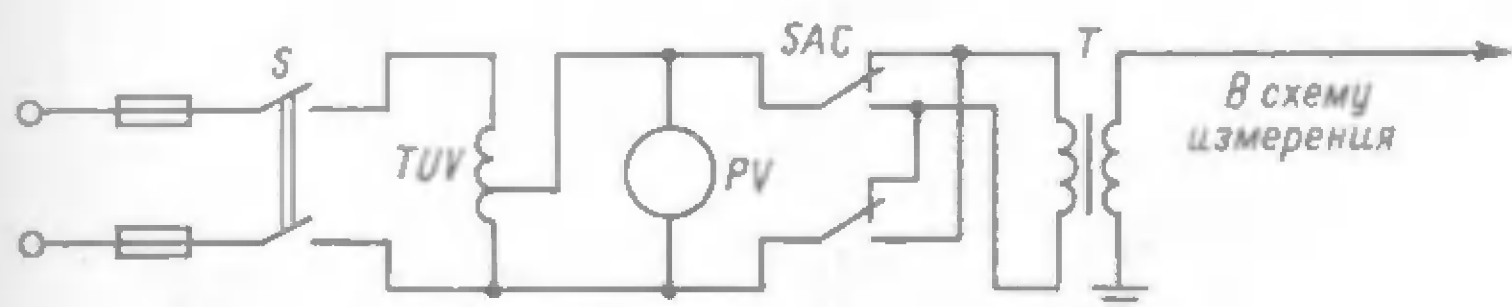
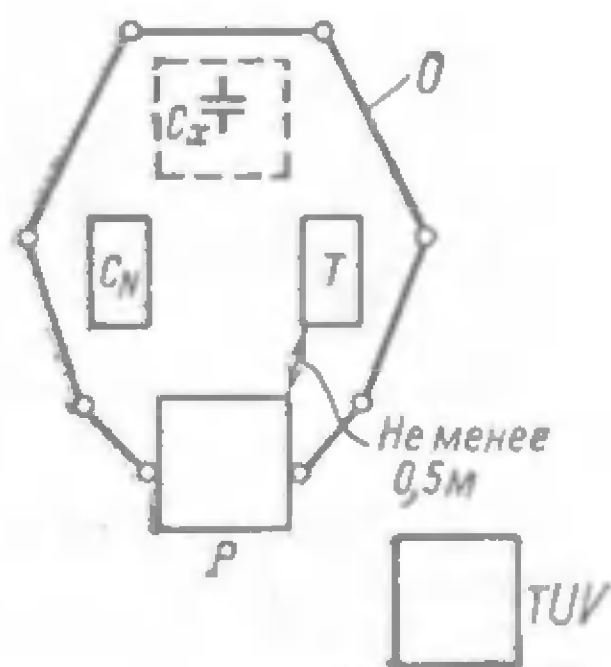


Рис. 55. Схема включения испытательного трансформатора при измерении $\text{tg } \delta$:

S — рубильник; TUV — регулировочный автотрансформатор; SAC — переключатель полярности выводов испытательного трансформатора T

380 В. Измерения $\text{tg } \delta$ производятся после проверки изоляции мегаомметром и при удовлетворительных результатах этой проверки, а также после проверки проб масла у маслонаполненных аппаратов. Результаты измерений $\text{tg } \delta$ сравниваются с допустимыми и с результатами предыдущих измерений.

На результаты измерений $\text{tg } \delta$ сильное влияние оказывают паразитные токи и внешние электростатические и магнитные поля. Для исключения этих влияний в самих мостах осуществляется экранировка, а кроме того, тщательно протираются поверхности изоляторов, и если этого оказывается недостаточно, то на изолятор накладывается охранное кольцо K , соединяемое с экраном моста (рис. 56). В последнем случае поверхностный ток утечки отводится непосредственно в землю и не влияет на результат измерения.

Значительно уменьшает погрешность измерений из-за влияний надежное заземление корпусов проверяемых аппаратов, моста и всей аппаратуры, участвующей в измерениях. Для уменьшения влияний при измерениях по

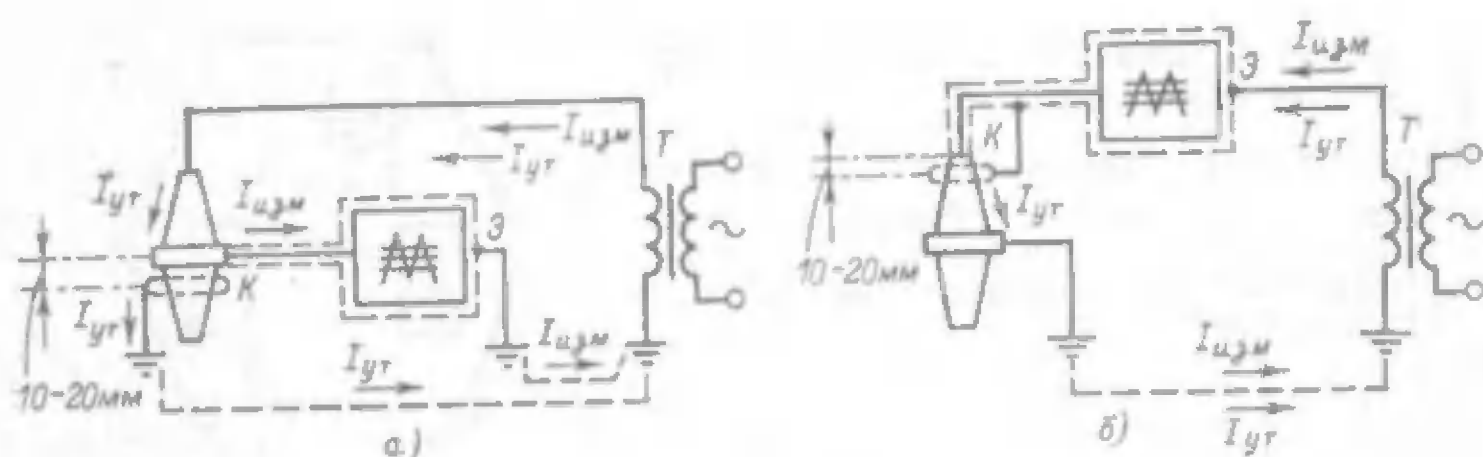


Рис. 56. Измерение $\operatorname{tg} \delta$ при наложении охранного кольца на измеряемый объект:

а — при измерении по нормальной схеме; б — при измерении по перевернутой схеме

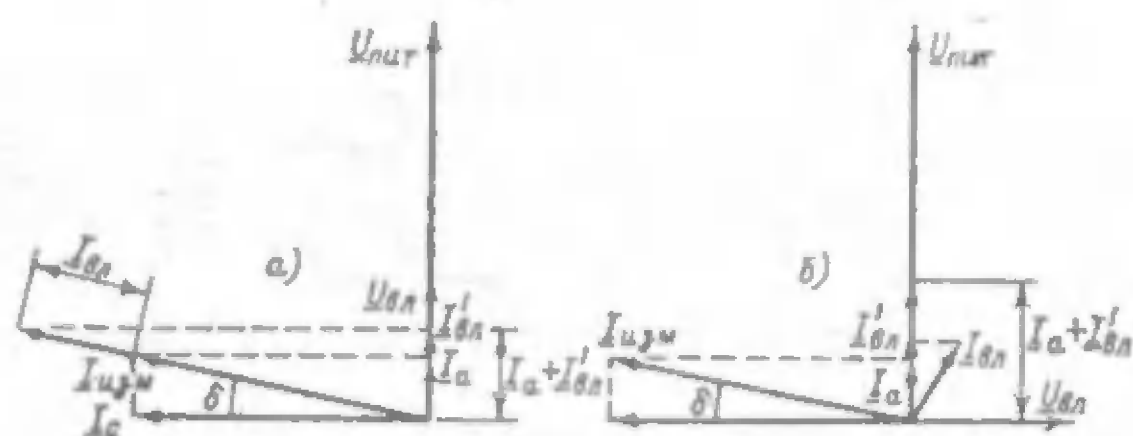


Рис. 57. Влияние электростатических полей на погрешности измерений:

а — $\underline{U}_{\text{пит}}$ совпадает по фазе с $\underline{U}_{\text{вл}}$; б — $\underline{U}_{\text{вл}}$ составляет с $\underline{U}_{\text{пит}}$ угол 90°

перевернутой схеме кроме указанных мер необходимо обеспечить, чтобы расстояние токоведущих частей проверяемых аппаратов от заземленных частей было не менее 0,5 м.

Иногда перечисленных мер оказывается недостаточно для устранения влияний. Тогда прибегают к помощи фазорегуляторов, через которые подается на схему измерения напряжение питания такой фазы, при которой результат измерения минимальный (в этом случае влияние минимально). В общем случае питающее напряжение должно совпадать по фазе с напряжением влияния. В этом случае ток влияния совпадает по фазе с током измерения, так как он емкостный или индуктивный, и поэтому мало сказывается на отношении I_a/I_c , что наглядно видно на рис. 57.

Измерения $\operatorname{tg} \delta$ рекомендуется производить при температурах от 10 до 40°C по причине, ранее изложенной. Для приведения измеренных значений $\operatorname{tg} \delta$ к необходи-



Рис. 58. Внешний вид прибора ПКВ-8

мой для сравнения температуре используются коэффициенты, приведенные в § 1.

Порядок измерения мостами Р5026, МД-16 и Р595 излагается в заводских инструкциях, прилагаемых к мостам.

Определение степени увлажненности изоляции производится приборами ЕВ-3 и ПКВ-8, использующими метод «емкость — время». Максимальная емкость, измеряемая этими приборами, составляет 10 000 пФ при погрешности не более $\pm 5\%$. Внешний вид прибора ПКВ-8 приведен на рис. 58. Измерения производятся в последовательности, излагаемой в заводской инструкции, прилагаемой к прибору.

Испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением

Испытания повышенным напряжением промышленной частоты производятся по схеме рис. 59. В качестве испытательного трансформатора могут быть использованы измерительные трансформаторы напряжения, если их

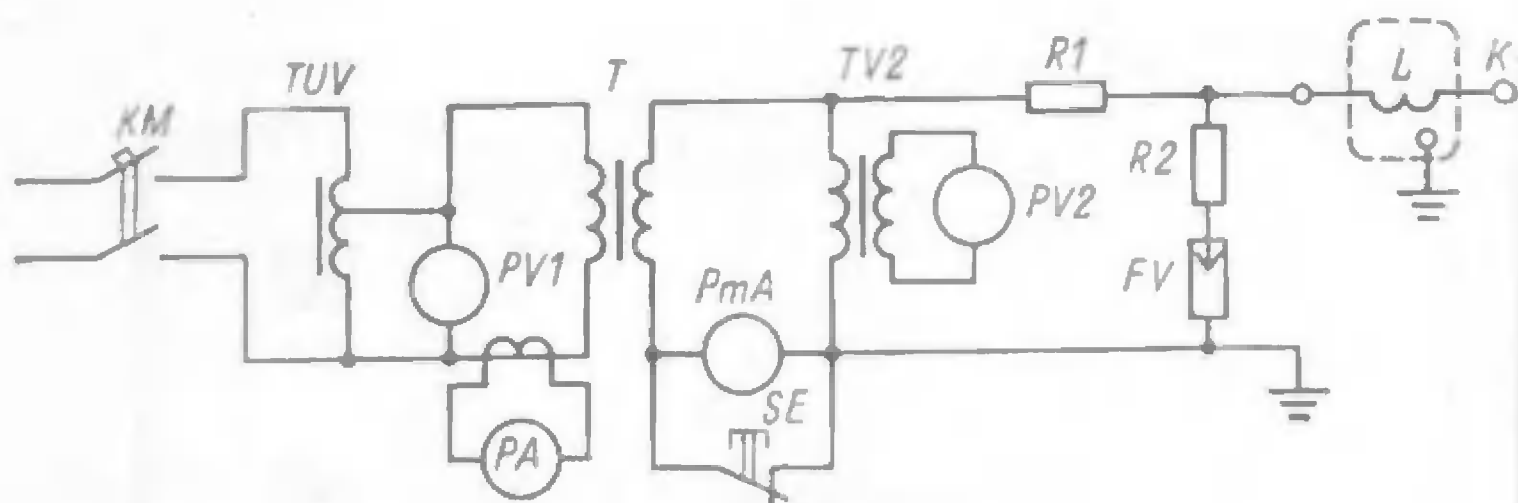


Рис. 59. Схема испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением переменного тока:

КМ — автоматический выключатель; TUV — регулировочная колонка; T — трансформатор испытательный; PA — амперметр для измерения тока на стороне низкого напряжения; PV1, PV2 — вольтметры; PmA — миллиамперметр для измерения тока утечки испытуемой изоляции; SE — кнопка, шунтирующая PmA для его защиты от перегрузок; R1 — резистор для ограничения тока в испытательном трансформаторе при пробоях в испытуемой изоляции (1—2 Ом на 1 В испытательного напряжения); R2 — то же для ограничения коммутационных перенапряжений на испытуемой изоляции при пробое разрядника (1 Ом на 1 В испытательного напряжения); FV — разрядник; L — испытуемая обмотка; K — корпус аппарата, изоляция которого испытывается

номинальное напряжение соответствует испытательному. Каждый трансформатор допускается перегружать по напряжению кратковременно в пределах 100—150 % $U_{\text{ном}}$, но при этом ток намагничивания не должен превышать допустимого по условиям нагрева [2]. Мощность, В·А, испытательного трансформатора и регулировочной колонки выбирается в зависимости от испытательного напряжения по формуле

$$S_{\text{исп}} = \omega C U_{\text{исп}}^2 \cdot 10^{-9},$$

где C — емкость испытуемой изоляции, пФ; $U_{\text{исп}}$ — испытательное напряжение, кВ; ω — угловая частота испытательного напряжения ($\omega = 2\pi f$). Ориентировочная емкость некоторых аппаратов и машин приводится в [2] и частично в табл. 1. Там же приводятся допустимые перегрузки трансформаторов напряжения. В случае необходимости (по уровню испытательного напряжения) трансформаторы могут включаться последовательно.

Измерение напряжения производится при ответственных испытаниях (генераторов, мощных силовых трансформаторов) на стороне высшего напряжения (электростатическим вольтметром или при отсутствии его — с помощью измерительных трансформаторов напряжения, рис. 60), а в случаях, менее ответственных, — на стороне низшего напряжения испытательного трансфор-

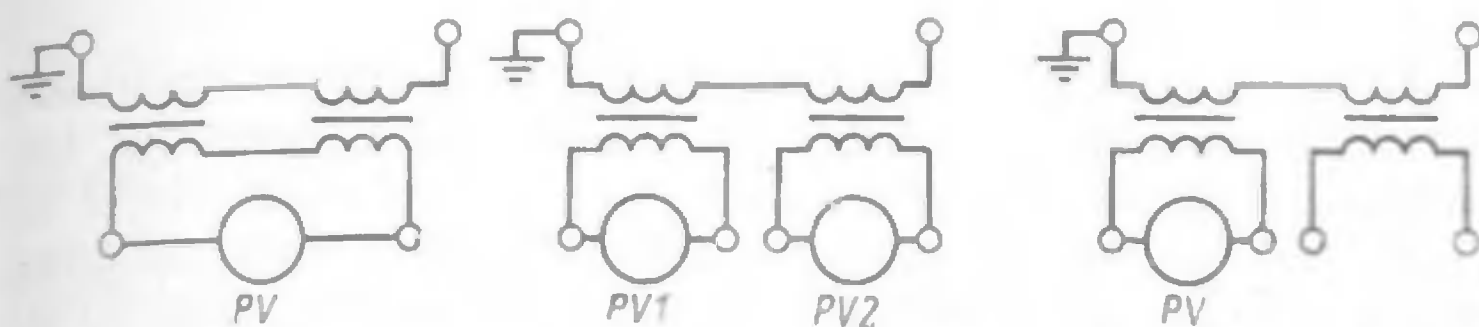


Рис. 60. Схемы измерения напряжения при испытании повышенным напряжением с помощью трансформаторов напряжения

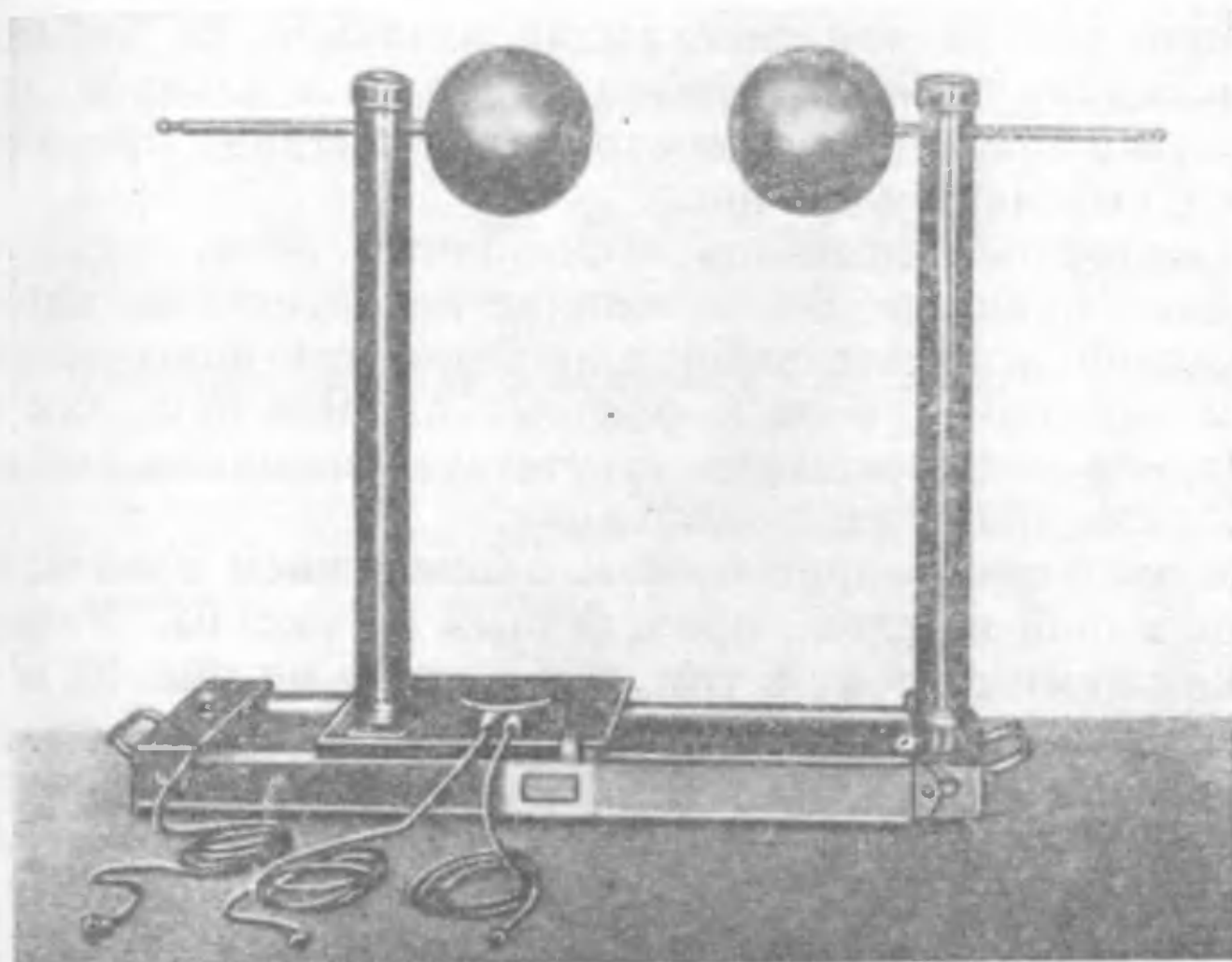


Рис. 61. Внешний вид шаровых разрядников

матора. Для защиты от случайных перенапряжений в схемах испытания используются шаровые разрядники (рис. 61).

Перед началом испытания проверяется выполнение всех требований Правил техники безопасности (ПТБ): место испытания должно быть огорожено, должны быть вывешены плакаты, предупреждающие об опасности, и тщательно проверены все заземления.

Перед испытанием также предварительно опробуется схема и устанавливается напряжение пробоя разрядника по шкале его микрометрического винта, которое должно быть не более чем на 10—15 % выше требуемого напряжения испытания.

Подъем напряжения на объект испытания производится до 25—30 % $U_{\text{исп}}$ с неограниченной скоростью, но плавно, дальнейший подъем — со скоростью 1—2 % $U_{\text{исп}}/\text{с}$. По истечении времени испытания (1 мин) напряжение плавно снижается и при значении, равном 30 % $U_{\text{исп}}$, может быть отключено. Во время испытания с безопасного расстояния осматривается и прослушивается испытываемая изоляция. Результат испытания считается удовлетворительным, если во время испытания не произошло пробоя или перекрытия изоляции, не наблюдалось резких бросков стрелок приборов и запахов гари. В случае пробоя или перекрытия испытание прекращается и выясняется причина.

Повторное испытание производится лишь после устранения причины. Во избежание недопустимых перенапряжений испытательный трансформатор присоединяется к линейному, а не к фазному напряжению, так как в линейном напряжении отсутствует наиболее опасная для изоляции третья гармоника.

Испытание выпрямленным напряжением производится по одной из схем, приведенных на рис. 62. Разница между ними состоит в том, что в схеме на рис. 62, а вывод испытательного трансформатора должен быть рассчитан на двойное рабочее напряжение (по изоляции), а в схеме на рис. 62, в изоляция трансформатора накала должна быть рассчитана на полное рабочее напряжение испытательного трансформатора по отношению к земле, что видно из рисунка.

Порядок испытания повышенным выпрямленным напряжением такой же, как и переменным, но в отличие от последнего дополнительно измеряется ток утечки, учитываемый при оценке состояния изоляции.

При испытаниях выпрямленным напряжением не требуются большие мощности, так как нагрузка испытательного трансформатора определяется только потерями в сопротивлении изоляции постоянному току. Это позволяет более широко использовать измерительные трансформаторы напряжения.

После испытания выпрямленным напряжением требуется во избежание несчастных случаев особо тщательно разрядить объект испытания.

В последнее время в качестве выпрямителей широкое применение нашли полупроводниковые вентили (селеновые, германиевые).

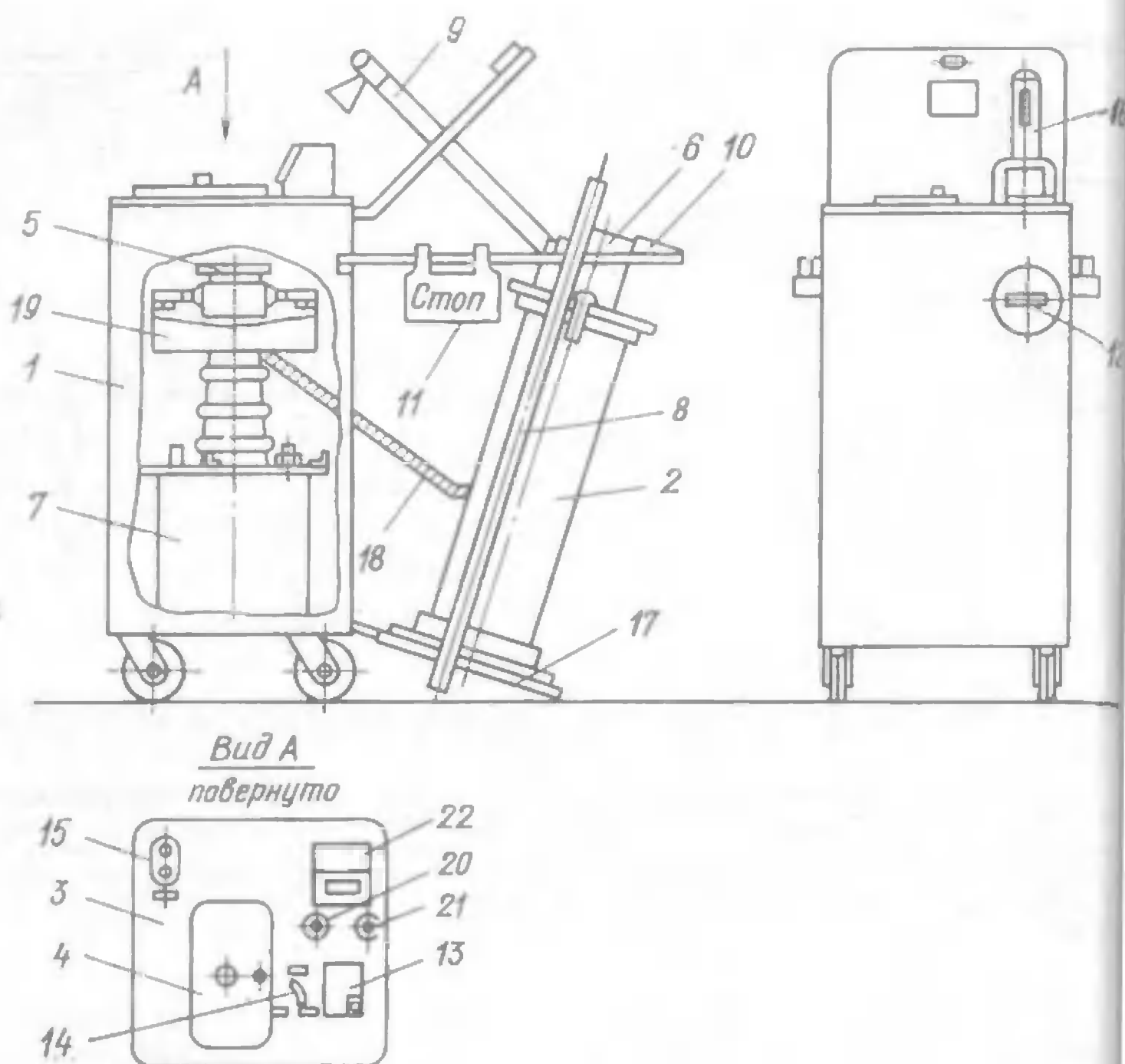


Рис. 63. Внешний вид испытательной установки АИИ-70М:

1 — пульт управления; 2 — селеновый выпрямитель; 3 — лицевая панель; 4 — дверца; 5 — измерительная ячейка; 6 — блок микроамперметра; 7 — трансформатор высокого напряжения; 8 — разрядник; 9 — рукоятка переключения пределов измерения тока; 10 — защитное ограждение; 11 — флажок предупредительный; 12 — рукоятка регулятора напряжения; 13 — автоматический выключатель; 14 — выключатель; 15 — вилка; 16 — задняя верхняя дверца; 17 — задняя нижняя дверца; 18 — пружина; 19 — изоляционные барьеры; 20, 21 — сигнальные лампы; 22 — киловольтметр

Проверкой распределения напряжения по изоляторам с помощью специальной штанги (рис. 64) выявляются отдельные дефекты изоляторов подвесных гирлянд. На основании результатов измерений строится кривая распределения напряжения (рис. 64, а). Как видно из рисунка, напряжение на одном из изоляторов резко снижается, это говорит о наличии дефекта в нем.

Изоляция цепей и аппаратов вторичных устройств после предварительной проверки с помощью мегаомметра подвергается испытанию повышенным напряжением 1 кВ переменного тока промышленной частоты в течение одной минуты. Испытывается полностью собранная схема

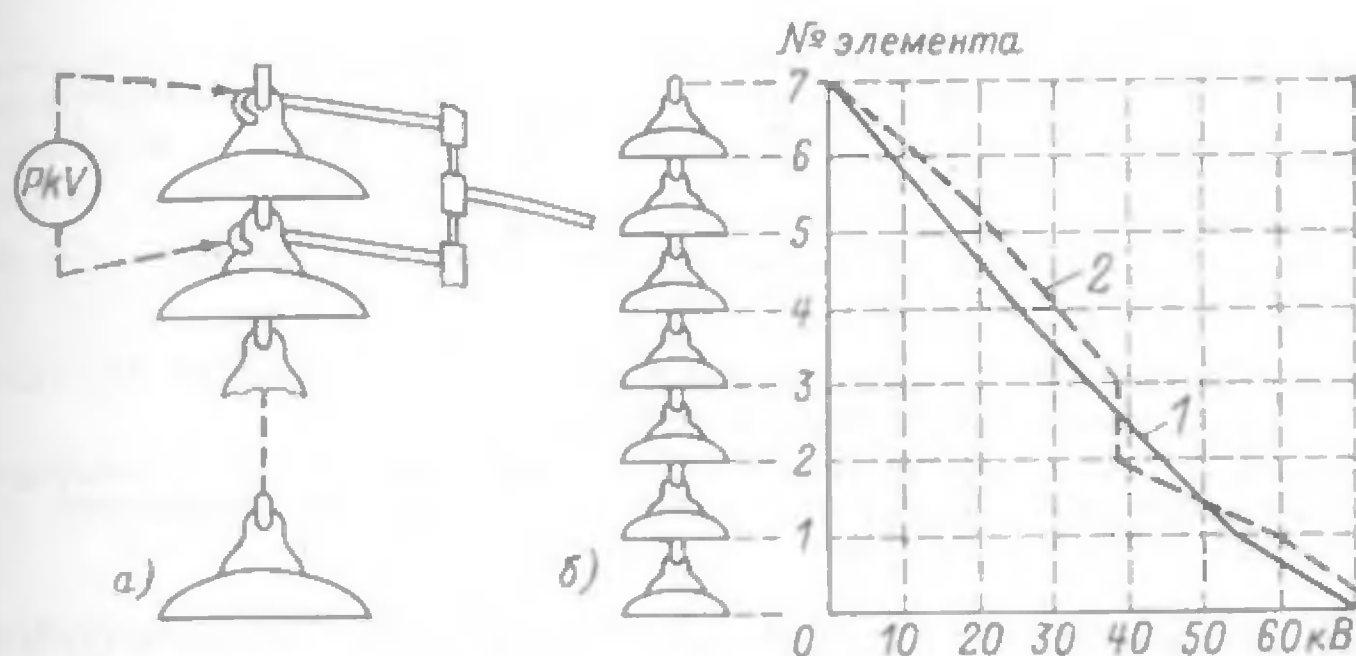


Рис. 64. Измерение (а) и кривые распределения (б) напряжения по элементам гирлянды 110 кВ для исправных изоляторов (кривая 1) и для случаев повреждения третьего изолятора снизу (кривая 2): РкV — киловольтметр, размещаемый на конце штанги в месте, доступном для отсчета показаний, но на безопасном для человека расстоянии

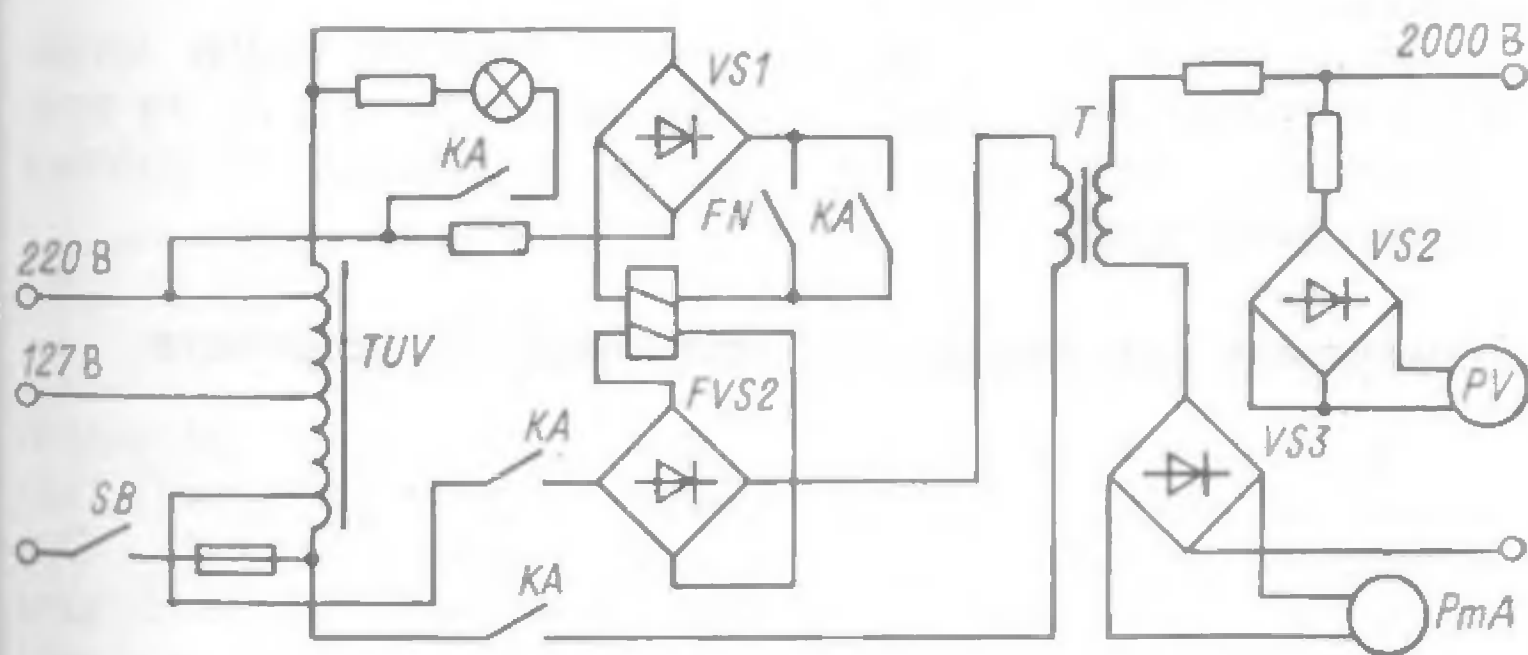


Рис. 65. Принципиальная схема испытательной установки ИБК: Т — испытательный трансформатор; TUV — регулировочный автотрансформатор; KA — реле защита; FN — вспомогательные контакты; SB — кнопка пуска

ма с помощью установок, изготавливаемых энергосистемами и наладочными организациями, например с помощью установки ИБК, показанной на рис. 65, или КУ-65.

При отсутствии испытательных установок испытание вторичных цепей может производиться по схеме рис. 66 с использованием в качестве испытательного трансформатора напряжения типа НОМ-3 или другого с коэффициентом трансформации 127 (220)/1000 или 127 (220)/2000 В. Резистор R сопротивлением 1000 Ом в схеме устанавливается для ограничения тока при пробое изоляции.

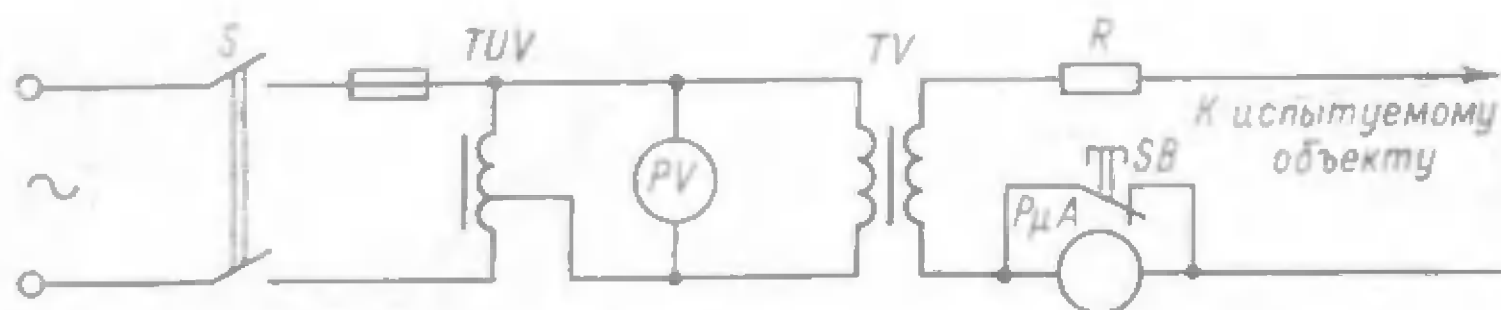


Рис. 66. Схема испытания изоляции вторичных устройств повышенным напряжением промышленной частоты:

S — рубильник; TUV — регулировочный автотрансформатор; TV — трансформатор напряжения; SB — кнопка включения амперметра при измерениях; R — резистор сопротивления 1000 Ом

Во избежание пробоя конденсаторы, используемые в схемах, закорачиваются. Закорачиваются также обмотки с большой индуктивностью (в том числе измерительных трансформаторов, электромагнитов отключения и реле) во избежание резонанса, который возможен из-за емкости кабелей, и полупроводниковые элементы во избежание повреждения.

Испытания оперативных цепей удобнее всего начинать с предохранителей, объединив искусственно на время испытания отдельные участки, питаемые от разных предохранителей.

Измерения при проверках заземляющих устройств

Основным параметром, характеризующим заземлитель (основной элемент заземляющего устройства), является *сопротивление растеканию заземлителя* R_z . Однако для установок напряжением выше 1 кВ с глухим заземлением нейтрали в настоящее время более важным параметром, обеспечивающим безопасность работ, является *напряжение прикосновения* $U_{пр}$.

Сопротивление растеканию R_z строго регламентируется ПУЭ и Нормами [1]. Измерение его производится с помощью измерителей типов М-4160, МС-0,8. Для измерения в землю забиваются вспомогательные электроды в виде стальных стержней или труб диаметром до 50 мм, располагаемые по схемам рис. 67. Стержни должны быть очищены от краски, а в месте присоединения соединительных проводников — и от ржавчины. В качестве таких электродов могут быть использованы отдельно стоящие металлические опоры, пасынки деревянных опор или специальные заземлители около опор. Измеритель при измерении располагают вблизи отвода от проверяемого заземлителя.

Рис. 67. Схемы размещения электродов для измерения сопротивления растеканию:

а—в — одиночных заземлителей; г — полосовых заземлителей; X — испытуемый электрод; ВЭ — вспомогательный электрод; З — потенциальный электрод

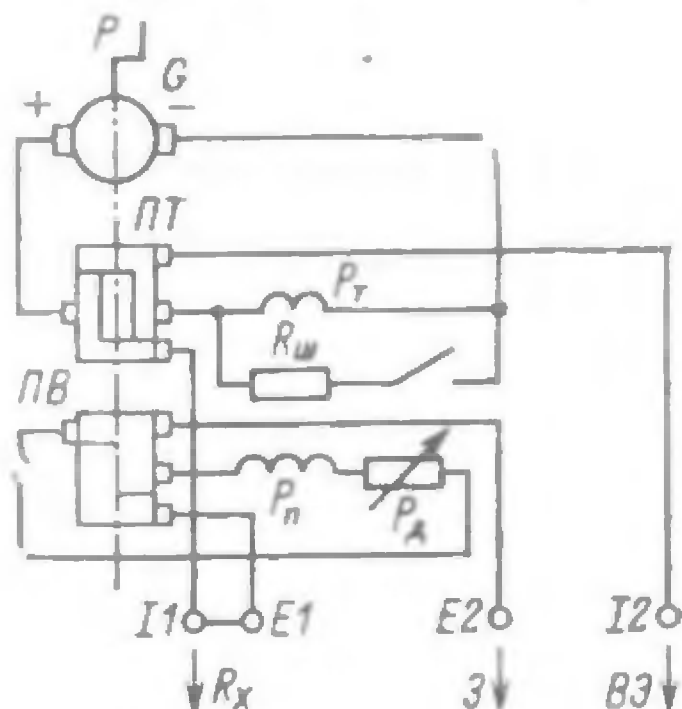
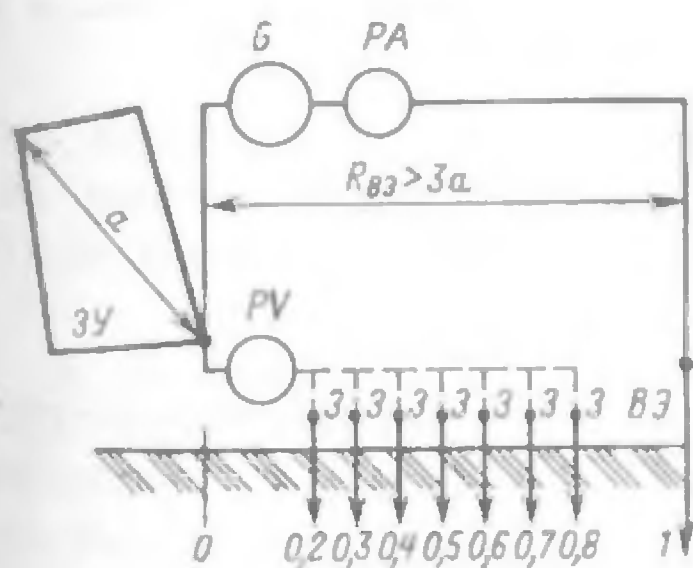
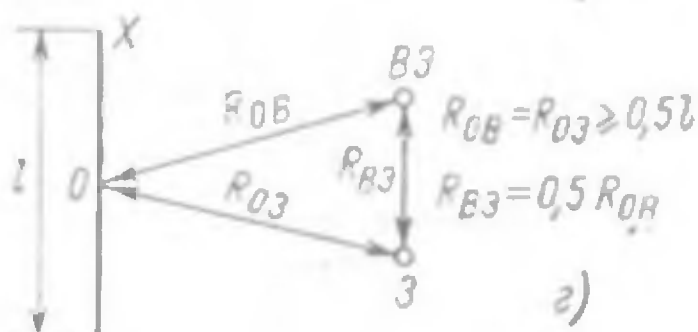
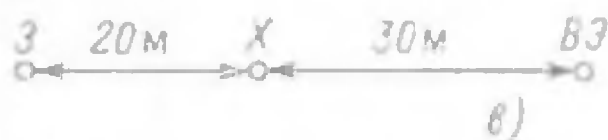
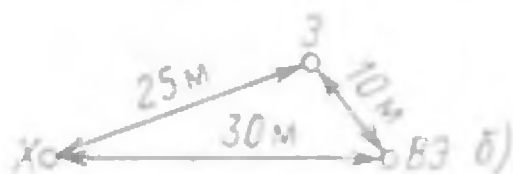
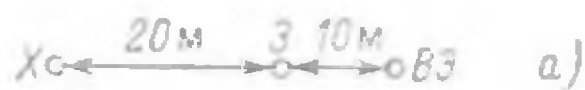


Рис. 68. Схема размещения токового (ВЭ) и потенциальных (З) электродов для испытания заземляющих устройств (ЗУ), занимающих большие площади

Рис. 69. Принципиальная схема измерения типа МС-08:

ПТ — преобразователь; ПБ — потенциальный выпрямитель; P_T — обмотки токовая и потенциальная логометра

При испытании заземлителей, имеющих большие размеры (100 м и более по диагонали), вспомогательные электроды располагают по однолучевой схеме, как показано на рис. 68.

Схема измерения R_z с помощью МС-08 представлена на рис. 69, а с помощью М-416 — на рис. 70.

Подробная методика измерения приводится в [2].

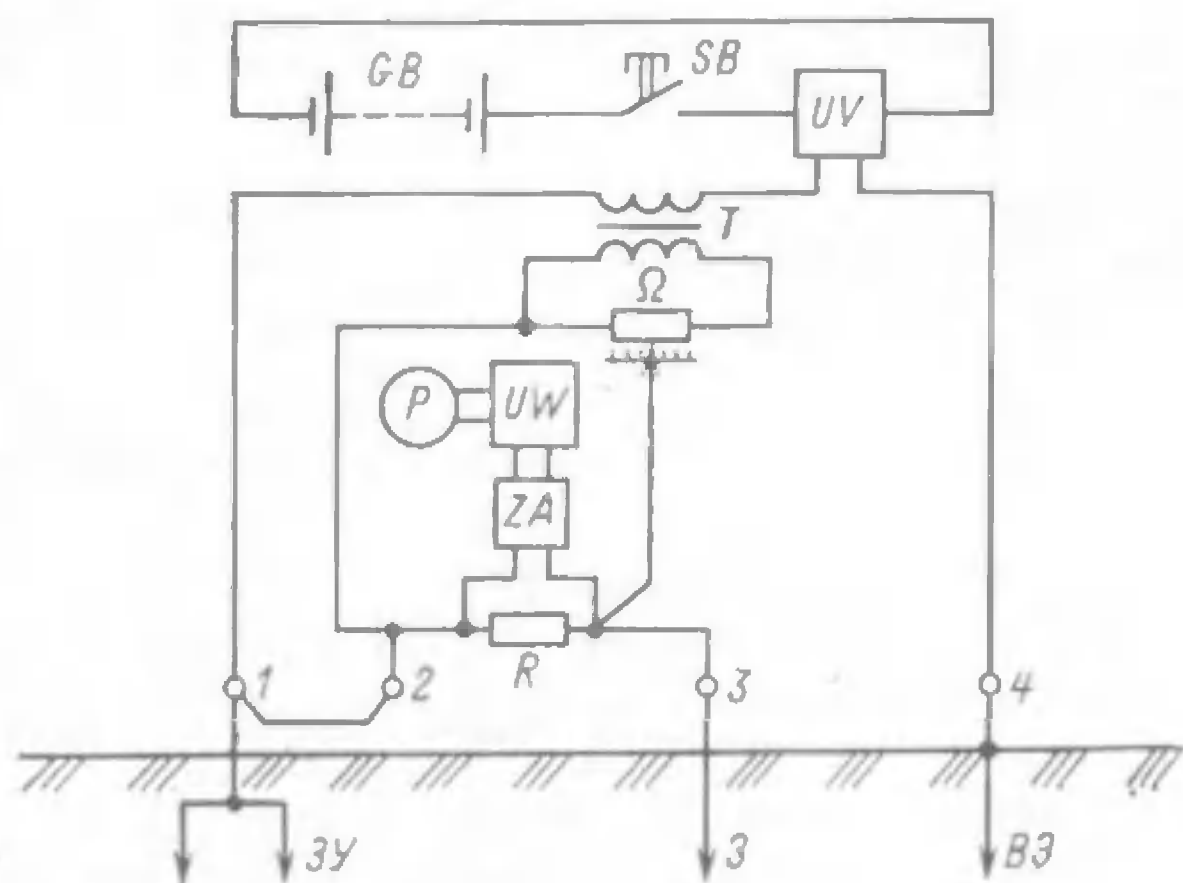


Рис. 70. Принципиальная схема измерителя типа М-416:

GB — батарея; SB — кнопка; UV — преобразователь; T — трансформатор; P — гальванометр; UW — усилитель; ZA — фильтр; R — резистор; $BЭ$ — вспомогательный электрод; $З$ — зонд; $ЗУ$ — заземляющее устройство; Ω — шкала в омах

Напряжение прикосновения измеряется методом амперметра — вольтметра с длительным приложением напряжения к заземлителю (рис. 71, а) и повторным кратковременным приложением (рис. 71, б и в).

Подробная методика измерения изложена в [2].

Полученные при измерениях результаты сравниваются с допустимыми. Если измеренное сопротивление превышает норму, то проверяют, все ли естественные заземлители подключены к контуру заземления. Если и в этом случае результат превышает, то измеряют сопротивление грунта в различных местах электроустановки и сравнивают последнее с учитываемым в проекте. Результаты сравнения передаются в проектную организацию для принятия решения.

Если проверке предшествовали дожди и грунт увлажнился, то в процессе эксплуатации следует повторить измерения в наиболее неблагоприятное для заземлителя время.

Кроме измерения R_z и $U_{пр}$ производится проверка целостности проводников, соединяющих аппараты с контуром заземления, и качества соединений (сварных и болтовых). Эта проверка производится измерением тока и напряжения (метод амперметра и вольтметра), как это показано на рис. 72, и дальнейшим определением по ре-

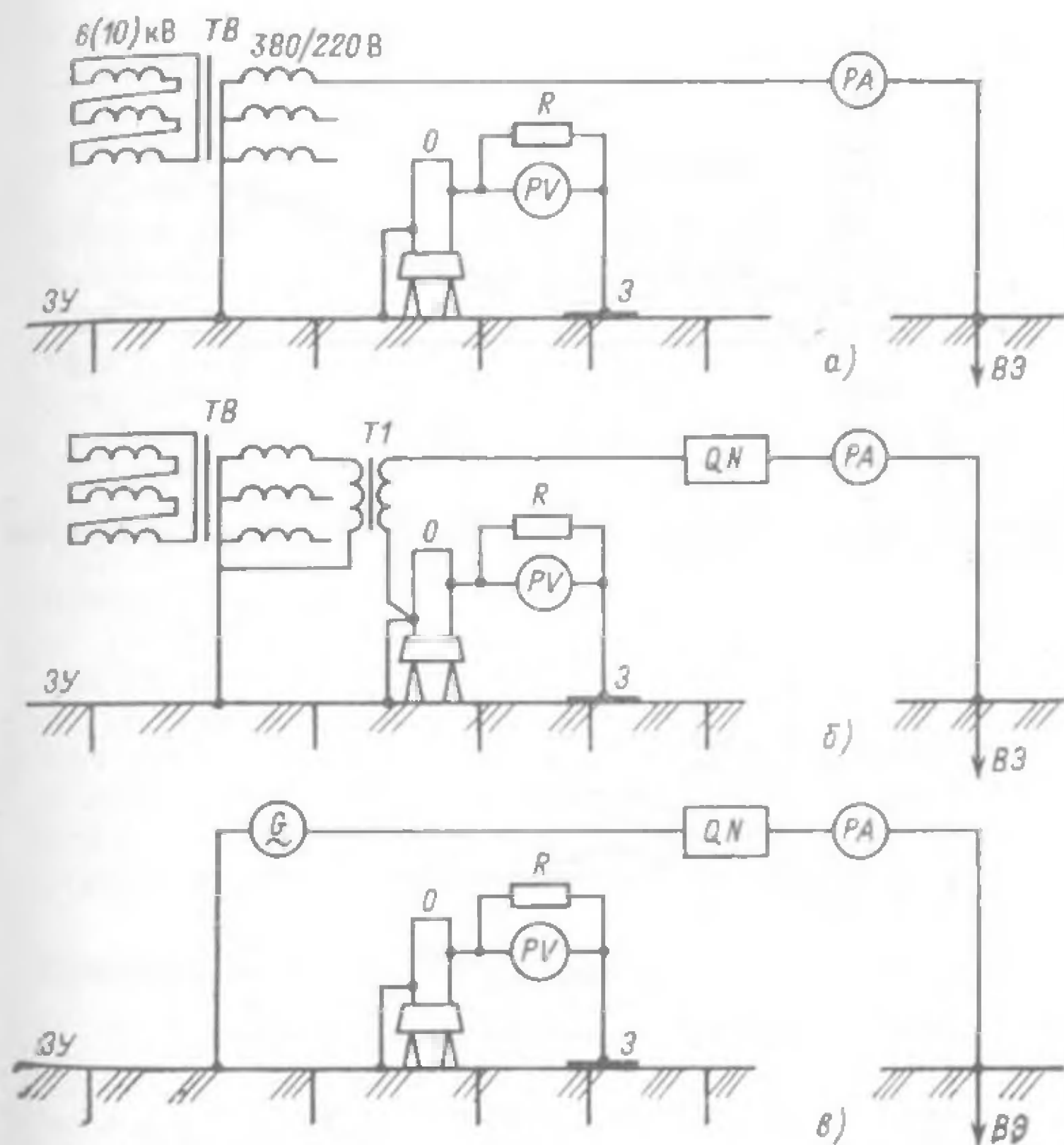


Рис. 71. Измерения напряжения прикосновения методом амперметра — вольтметра:

а — с использованием трансформатора собственных нужд; б — то же с разделительным трансформатором; в — с использованием генератора переменного тока; *TB* — трансформатор собственных нужд; *T1* — разделительный трансформатор; *G* — генератор (при возможности с частотой, отличной от 50 Гц); *3У* — заземляющее устройство; *O* — заземленное электрооборудование; *ВЭ* — вспомогательный электрод; *3* — потенциальный электрод; *R* — резистор; *QN* — тиристорный короткозамыкатель

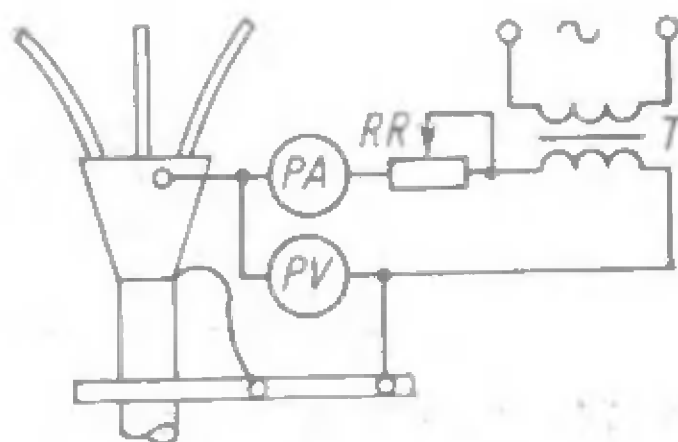


Рис. 72. Измерение сопротивления связи методом амперметра — вольтметра

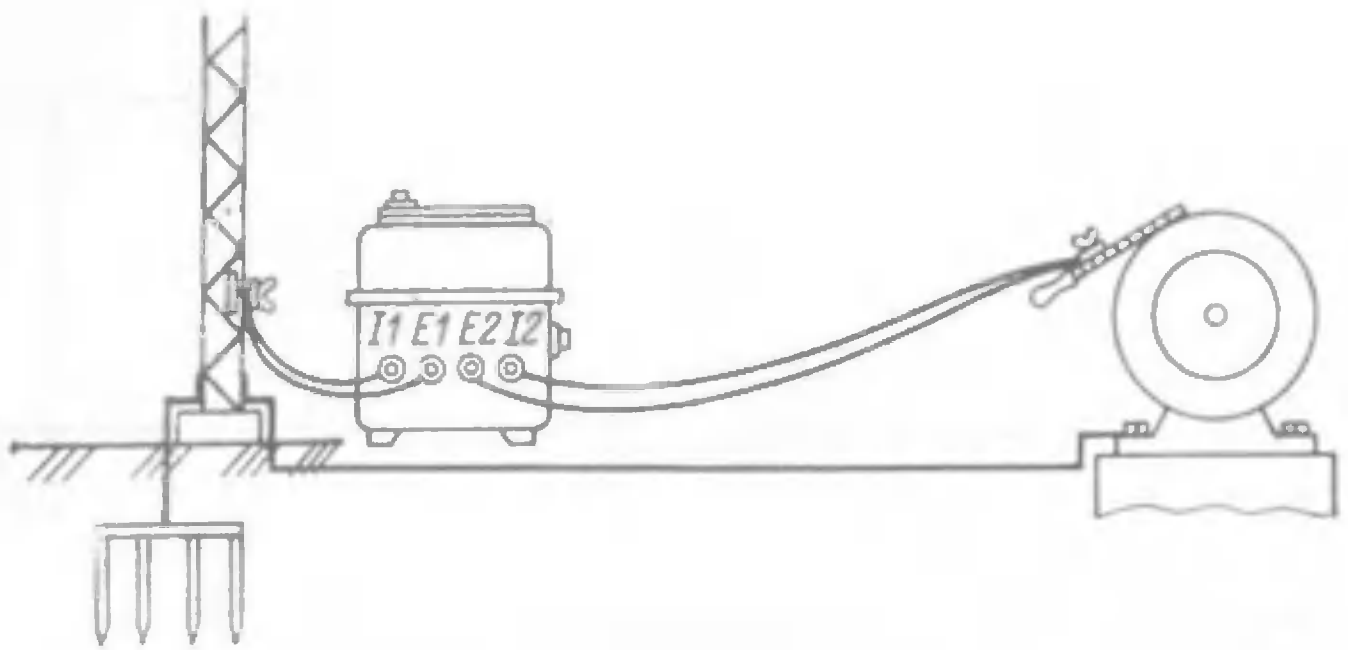


Рис. 73. Измерение сопротивления связи при помощи измерителя MC-08

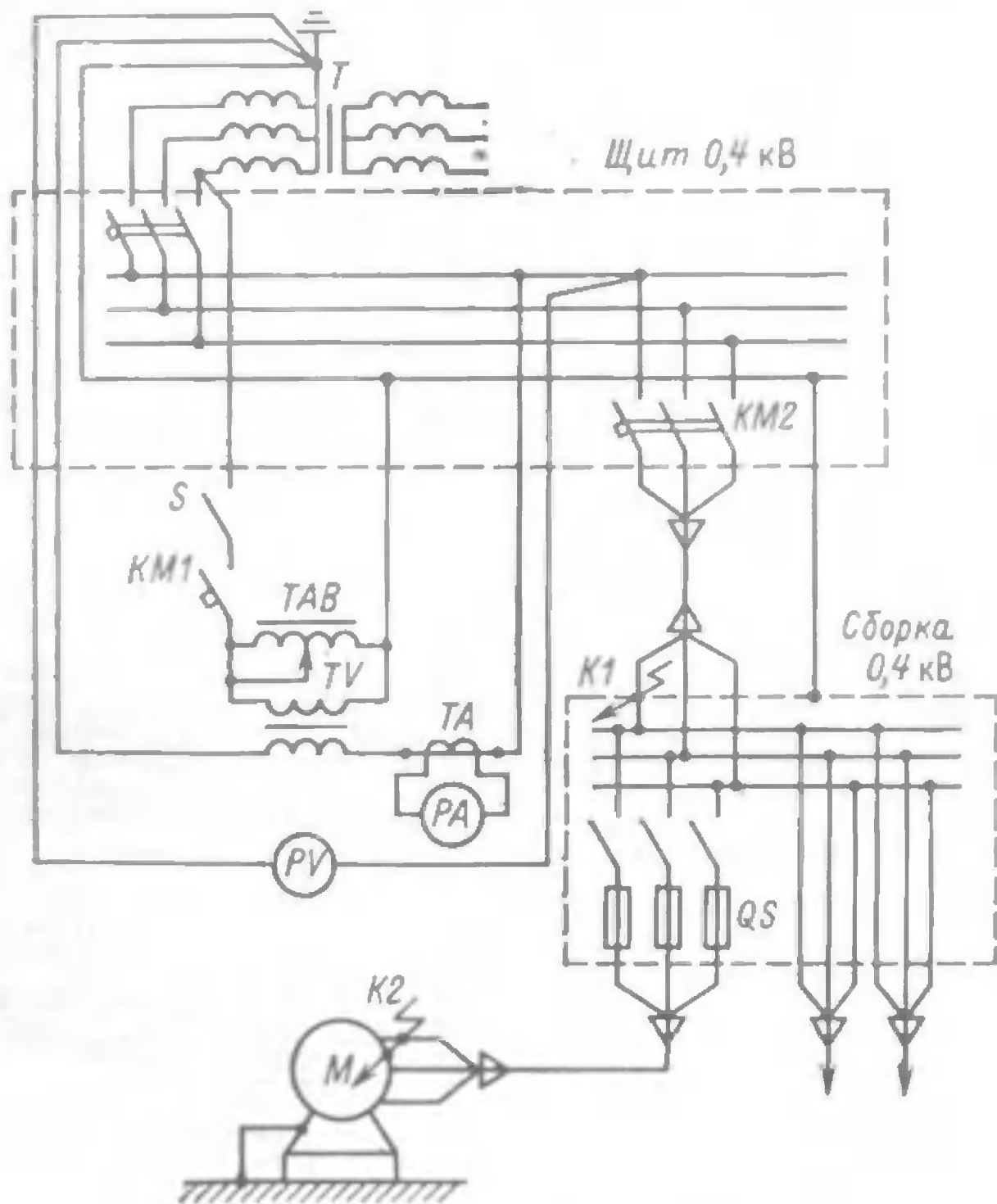


Рис. 74. Измерение сопротивления петли фаза — нейтраль

результатам измерения сопротивления связей или непосредственным измерением сопротивления связей, для чего в массовом случае удобнее всего пользоваться измерителем МС-0,7 или МС-0,8 (рис. 73).

В последнем случае необходимо при измерении произвести компенсацию сопротивления измерительных проводов. Для этого провод, подключаемый при проверках «точек» заземления к последним, присоединяется к выводам *II*, *EI* и вращением ручки «Регулировка» устанавливается стрелка прибора на нуль шкалы измерителя.

В установках до 1 кВ с глухим заземлением нейтрали измеряется сопротивление петли фаза — нейтраль. Проверка эта производится обычно для наиболее удаленных электроприемников, но не менее чем для 10 % общего количества последних. Измерение производится по схеме рис. 74. Проверка сопротивления петли может производиться расчетом, приведенным в [2 и 9].

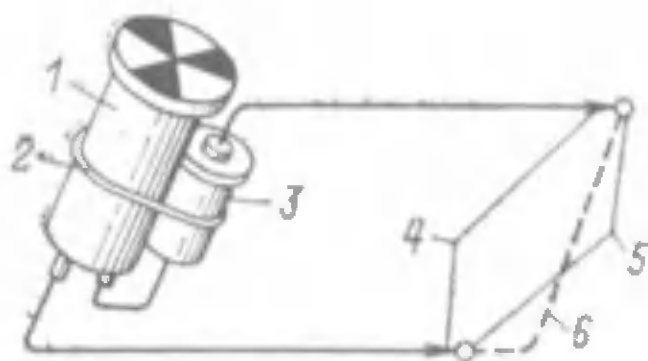
По результатам измерения или расчета сопротивления петли определяется ток однофазного короткого замыкания, который сравнивается с допустимым для данной установки по условиям срабатывания защитных устройств (плавкие предохранители или реле).

Проверка правильности монтажа цепей

Правильность монтажа вторичных цепей в пределах панели, шкафа или аппарата при открытом его выполнении может быть проверена путем простого прослеживания, как это делается при проверке схем внешних электрических соединений (см. § 1). При сложном монтаже и проверке соединений между панелями, тем более расположенных в разных помещениях, проверка осуществляется *прозвонкой* с помощью специальных приспособлений — пробника, мегаомметра, телефонных трубок. Пробник представляет собой малогабаритный указатель с батарейкой для карманного фонарика (рис. 75).

Рис. 75. Прозвонка цепей с помощью пробника:

1 — указатель; 2 — хомут; 3 — батарейка; 4 — зажимы; 5 — клеммы участка цепи, правильность выполнения которого проверяется; 6 — проверяемый участок цепи



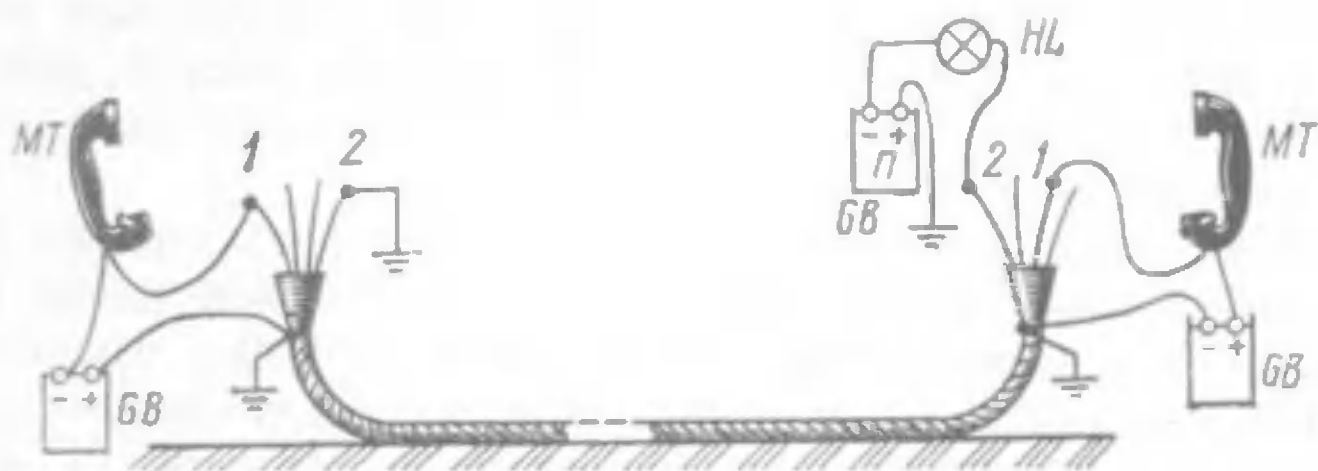


Рис. 76. Проверка «прозвонкой» правильности маркировки жил кабеля:

1, 2 — обозначения жил кабеля

Для удобства работы на концы пробника напаяются зажимы, которыми удобно подсоединяться к выводам проверяемой цепи.

При правильности выполнения проверяемой цепи лестки, или стрелка, или лампочка, используемые в пробнике в качестве индикатора, «срабатывают». В противном случае срабатывания не происходит. Для исключения возможности срабатывания пробника по обходным цепям (ложного) один конец проверяемой цепи отключается от клеммы и подсоединяется непосредственно к пробнику.

Проверка монтажа цепей, находящихся в различных помещениях, производится следующим образом. По одной из жил проверяемого кабеля устанавливается телефонная связь, как это показано на рис. 76. С одной стороны кабель отсоединяется от места присоединения полностью, и один из проверяющих поочередно подсоединяет проверяемые жилы к «земле». Вторым проверяющим при этом ищет эту жилу пробником, подсоединив один из его концов также к «земле». Когда жила найдена, пробник срабатывает и найденная жила подключается к своему предназначенному месту. Аналогично отыскиваются последовательно все остальные жилы отсоединенного кабеля и подключаются вновь в соответствии с ранее проверенными чертежами проекта. В настоящее время в качестве телефонных трубок используются телефонные гарнитуры, которые удобны тем, что их не надо держать в руках. В последнее время разработаны и используются специальные устройства (жилонискатели), которые позволяют осуществлять прозвонку цепей одному человеку даже в случае, когда цепи находятся в разных помещениях.

Определение полярности обмоток

При проверке силовых и измерительных трансформаторов, а также электрических машин для оценки состояния в целом необходимо убедиться в правильности маркировки выводов обмоток и согласования *полярностей*. Наиболее важно при этом определить *однополярные выводы*, т.е. такие, которые при наличии потока в магнитопроводе от постороннего источника имеют один и тот же знак ЭДС.

Полярность выводов обмоток зависит от направления намотки витков и взаимного расположения их на сердечнике магнитопровода.

На рис. 77 показаны однополярные выводы $A, a, a_1, a_2; X, x, x_1, x_2$. Если соединить обмотки последовательно,

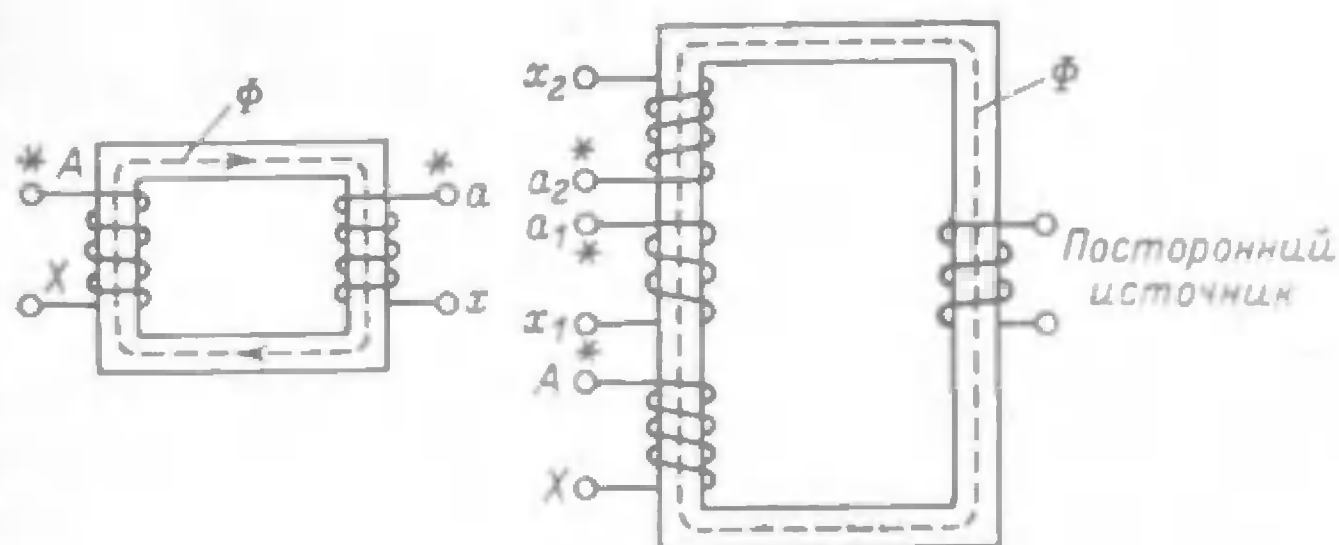


Рис. 77. Однополярные выводы обмоток трансформатора

соблюдая полярность, например вывод A с x_1 , то общая ЭДС обмоток на выводах $X - a_1$ будет представлять собой сумму ЭДС отдельных обмоток; ЭДС последовательно-встречно включенных обмоток, например при соединении вывода A с a_1 , будут вычитаться, и при одинаковом количестве витков их общая ЭДС на выводах $X - x_1$ будет равна нулю.

Если к одной из обмоток кратковременно подключать постоянный ток, а к другой — гальванометр, присоединив плюс батареи и гальванометра к однополярным зажимам A и a , то отклонение гальванометра будет происходить в правую сторону при замыкании цепи батареи и в левую при размыкании ее (рис. 78). Это свойство обмоток позволяет просто определять однополярные зажимы: если в приведенной схеме подключения батареи и гальвано-

метра отклонение последнего при замыкании цепи батареи происходит в правую сторону, при размыкании — в левую, то однополярны выводы A, a и X, x . Такой метод носит название метода полярмера, широко применяемого при оценке состояния электрооборудования. Перед проверкой полярности по этому методу должна быть про-

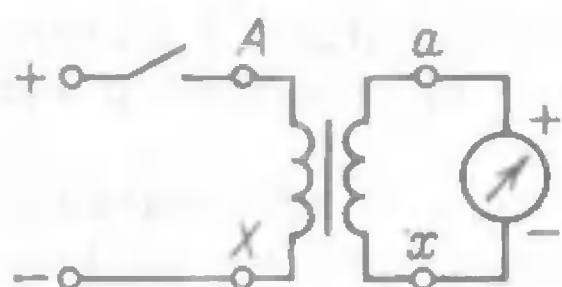


Рис. 78. Схема определения полярности обмоток электродвигателя

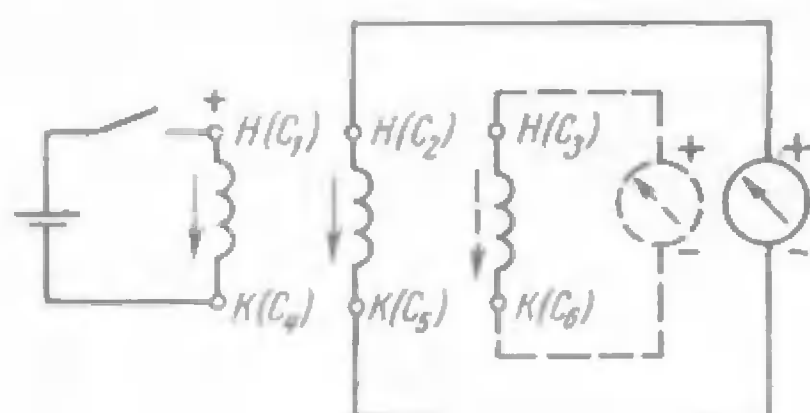


Рис. 79. Проверка полярности обмоток полярмеров

верена полярность гальванометра (его зажимов) подачей на него напряжения кратковременно и в пределах допустимого. В противном случае результаты проверки полярности могут быть ошибочны.

Определение однополярных выводов обмоток асинхронных машин производится по схеме рис. 79. Если присоединить плюс батареи схемы к началу первой обмотки, а плюс гальванометра поочередно к началам второй и третьей обмотки, то в момент замыкания цепи источника тока гальванометр в случае правильной маркировки будет отклоняться влево. Такое отклонение обуславливается сдвигом в пространстве обмоток и сердечников машин на 120° (электрических) по отношению друг к другу. Проверка производится подачей напряжений на обмотки всех фаз.

Аппаратура для регулирования тока и напряжения при измерениях и испытаниях

Реостаты и потенциометры наиболее широко применяются при измерениях и испытаниях. Промышленность выпускает довольно широкий ассортимент реостатов и

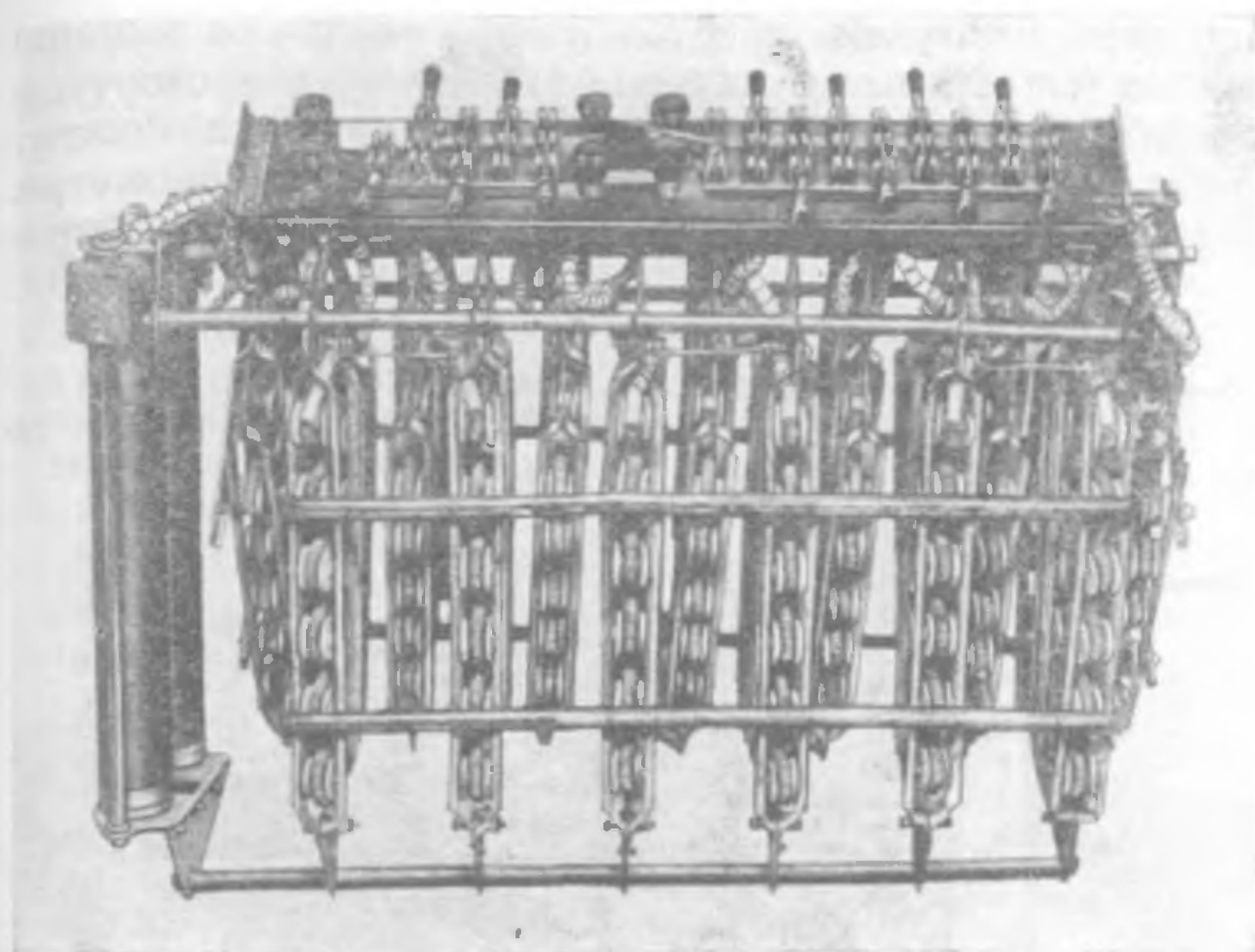


Рис. 80. Реостат Мосэнерго для регулирования тока

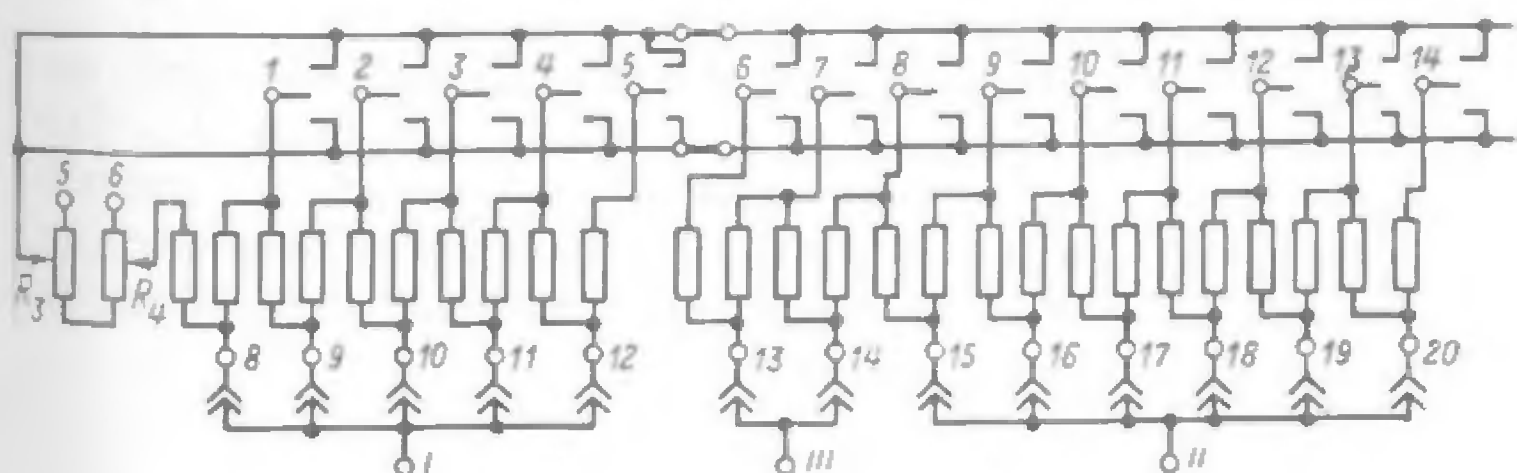


Рис. 81. Принципиальная схема реостата Мосэнерго

потенциометров, но в энергосистемах изготавливаются нагрузочные реостаты, которыми можно производить регулировки больших токов, что не позволяют делать обычные серийные реостаты. На рис. 80 и 81 представлен один из реостатов, изготавливаемый в Мосэнерго.

В отличие от промышленных реостатов с регулированием с помощью ползунковых устройств в нагрузочном реостате Мосэнерго регулирование производится с помощью рубильников. Максимально допустимый ток в этих реостатах равен 80 А. Реостат для регулирования тока

включается по схеме рис. 82. В этом случае он выбирается по допустимому току, указываемому в паспорте, и по необходимому диапазону регулирования тока. Реостат может использоваться и в качестве потенциометра. В этом случае он включается по схеме рис. 83 и выбира-

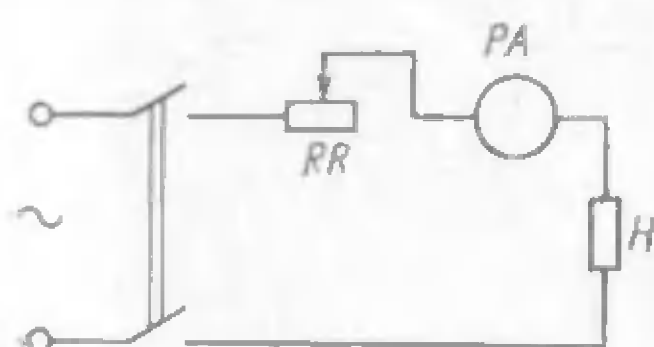


Рис. 82. Схема использования реостата для регулирования тока:
RR — реостат; H — нагрузка

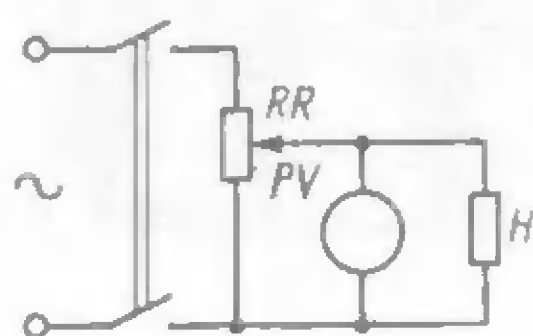


Рис. 83. Схема использования реостата в качестве потенциометра:
RR — реостат; H — нагрузка

ется по условиям плавности регулирования напряжения и по длительно допустимому току.

Для того чтобы удовлетворялось первое условие, необходимо, чтобы полное сопротивление реостата $R_{р.л}$ было как можно больше. Его значение ограничивает второе условие, по которому реостат должен длительно выдерживать ток нагрузки $I_{ном}$ и ток собственного потребления I_p , определяемый из выражения

$$I_p = U_c / R_{р.л},$$

где U_c — напряжение сети.

Для того чтобы нагрузка не влияла на значение напряжения, снимаемого с потенциометра (из-за того, что оно перераспределяется на потенциометре по мере передвижения «движка» в соответствии с изменением соотношения между сопротивлениями отдельных частей потенциометра), сопротивление реостата должно удовлетворять третьему условию:

$$R_n \geq 10R_{р.л},$$

где R_n — сопротивление нагрузки.

Последнее условие дополнительно ограничивает максимальное значение сопротивления реостата.

Автотрансформаторы. Наиболее широко для регулирования напряжения переменного тока используются автотрансформаторы (ЛАТР, рис. 84; регуляторы напряжения однофазные типа РНО, трехфазные типа РНТ; регулировочные автотрансформаторы типов РТТ, АОМК).

Принципиальная электрическая схема автотрансформаторов показана на рис. 85 и 86.

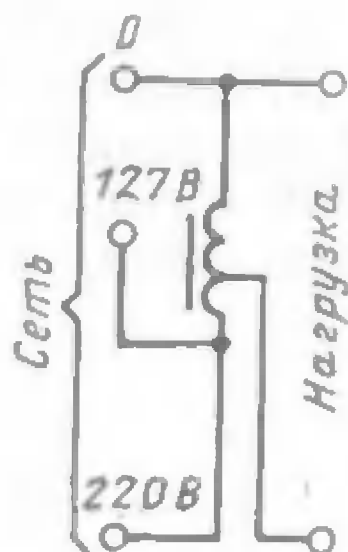
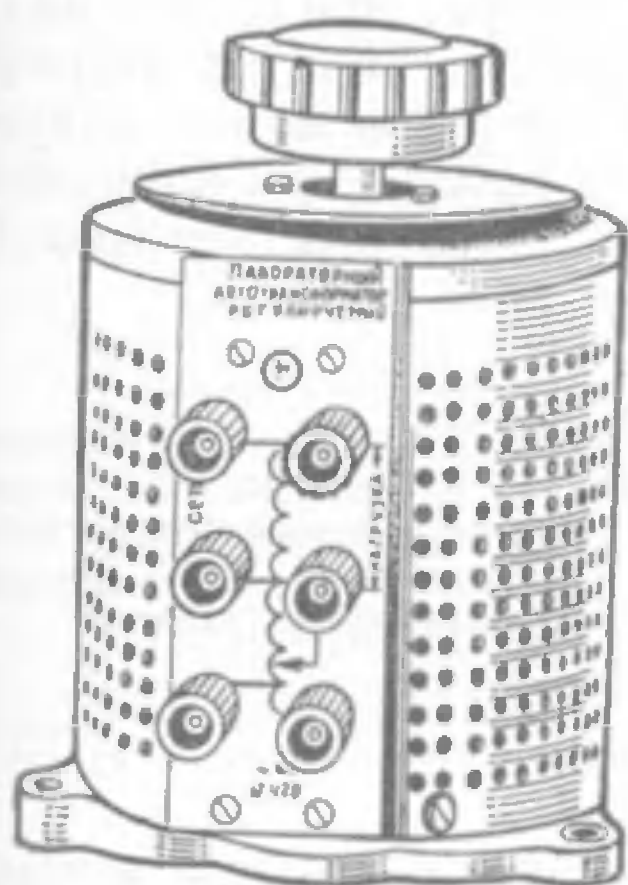


Рис. 85. Принципиальная схема автотрансформатора ЛАТР

Рис. 84. Лабораторный регулировочный автотрансформатор ЛАТР-2М

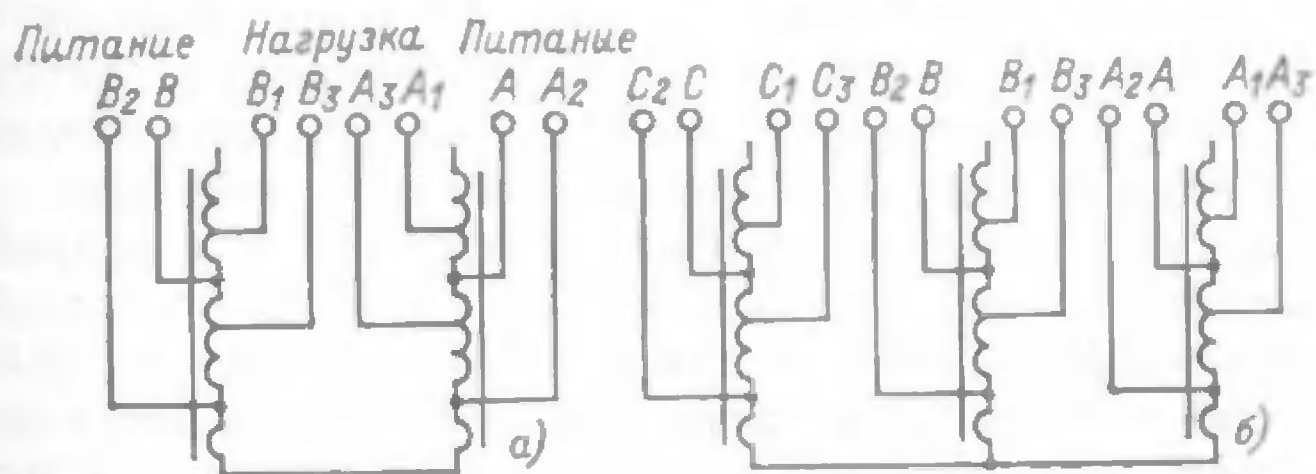


Рис. 86. Принципиальные схемы регулировочных трансформаторов РНО (а) и РНТ (б)

Автотрансформаторы используются в соответствии с паспортными данными (по току и напряжению). При токах в пределах 1—9 А обычно используют автотрансформаторы типа ЛАТР, а при больших — регулировочные. Допускается кратковременная двукратная перегрузка для регулировочных автотрансформаторов и даже 4,5-

кратная для РНО-250-10 при использовании их для испытания изоляции повышенным напряжением при условии, что длительность увеличения напряжения от нуля до испытательного не превышает 30 с, а длительность испытания — 1 мин.

Технические данные автотрансформаторов приводятся в [2].

Нагрузочные токовые устройства. В качестве нагрузочных устройств довольно широко используются трансформаторы безопасности (ОСД-0,25). При подаче на первичную обмотку их напряжения до 220 В на вторичной обмотке при включении на нее нагрузки можно получить ток до 150 А. Ток регулируется изменением напряжения с помощью лабораторного автотрансформатора (рис. 87).

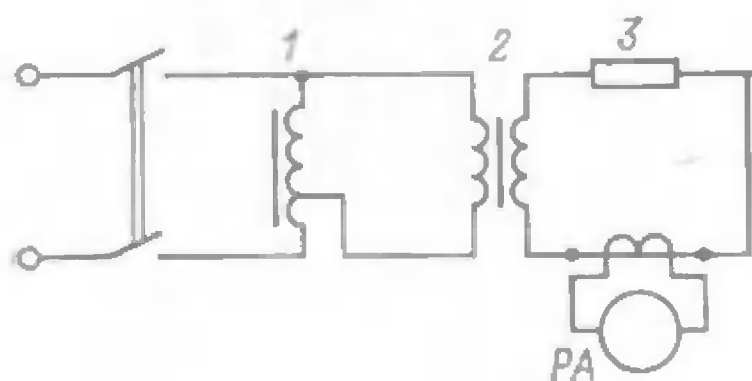


Рис. 87. Схема регулирования тока в нагрузке с помощью трансформатора безопасности: 1 — ЛАТР; 2 — трансформатор безопасности; 3 — нагрузка

Энергосистемы изготавливают специальные нагрузочные устройства. Пример такого устройства на напряжение 127—220 В приведен на рис. 88 (изготавливается в Мосэнерго). Мощность этого устройства в кратковременном режиме составляет 30 кВ·А. Ток регулируется переключением секций с помощью болтов (ступенями).

При последовательно включенных секциях вторичной обмотки ток в нагрузке составляет 100 А, при параллельно включенных — 800, а при последовательно-параллельных 400 и 200 А. Для возможности плавного регулирования тока в нагрузке напряжение на первичную обмотку подается через регулировочный автотрансформатор с учетом того, что ток в первичной обмотке может составлять до 50 А при напряжении 220 В и 90 А при напряжении 127 В. Одновременно с установлением необходимого тока во вторичной обмотке с помощью болтов и гаек устанавливается необходимый для этой ступени коэффициент измерительного трансформатора тока, к которому подключен контрольный амперметр.

В качестве нагрузочного устройства иногда использу-

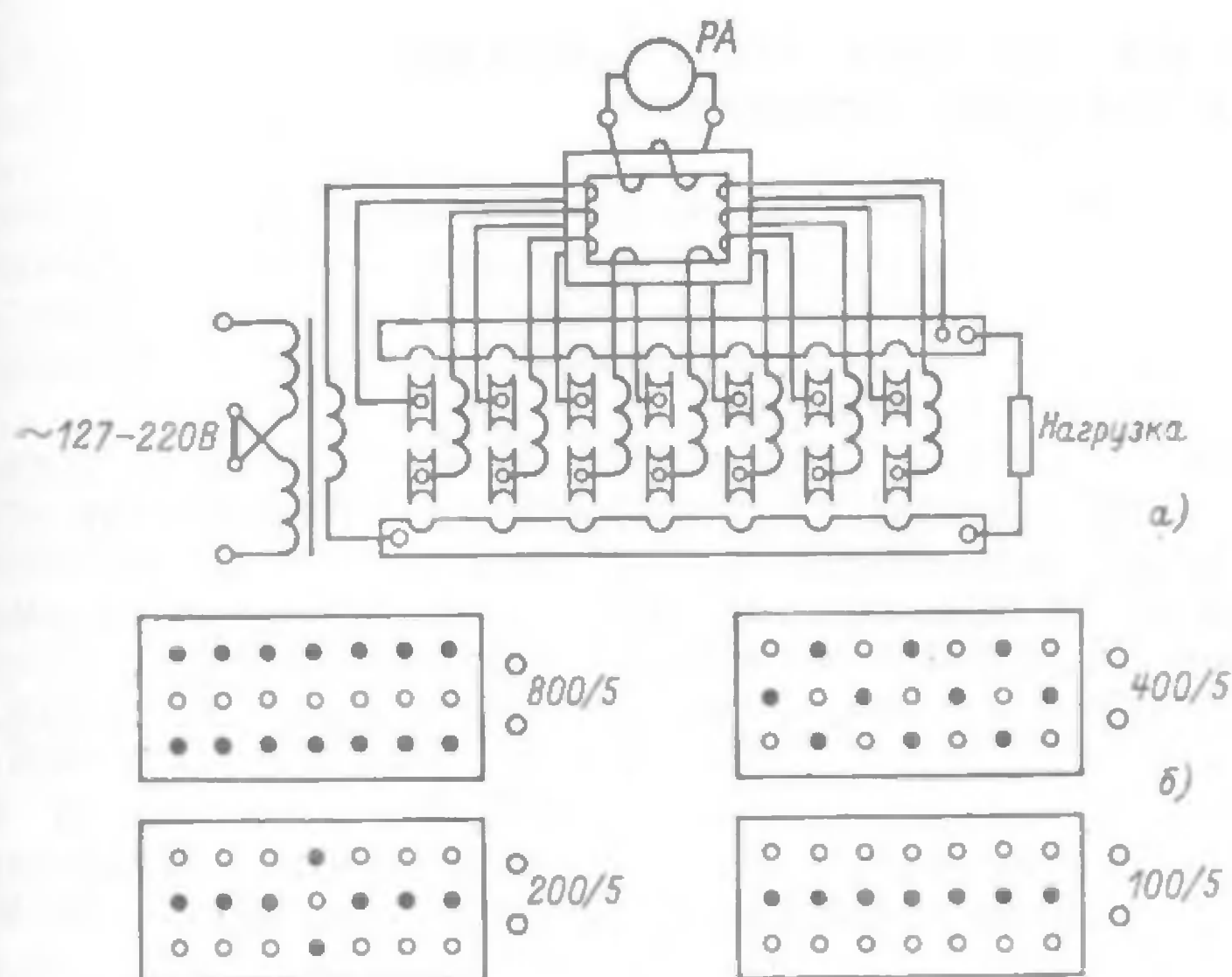


Рис. 88. Нагрузочный трансформатор ТН-3 Мосэнерго:

а — схема внутренних соединений; б — схема выводов и соединений их с помощью гаек для получения различных коэффициентов трансформации; ● — гайка затянута; ○ — гайка отпущена

ются лабораторные трансформаторы тока типа УТТ. С их помощью в первичной обмотке, пропускаемой через отверстие трансформатора, можно получать ток до 2000 А (при одном витке первичной обмотки) при подаче на вторичную обмотку напряжения 127—220 В через лабораторный автотрансформатор (достаточно типа ЛАТР-1, так как ток во вторичной обмотке при этом составляет не более 5 А).

Если необходимо при работе с нагрузочным устройством сохранить синусоидальную форму тока или напряжения (например, при проверке индукционных реле), то в первом случае используют нагрузочные устройства с активным сопротивлением, а во втором — автотрансформаторы. Это обуславливается нелинейной зависимостью тока намагничивания от напряжения (магнитного потока), искажающей ее форму.

Комплектные устройства для проверок коммутационной аппаратуры

Многими наладочными организациями и энергосистемами разработаны комплектные переносные устройства, позволяющие производить проверки коммутационной аппаратуры и устройств релейной защиты при минимальной затрате времени.

Наладочным управлением ССО «Электромонтаж» Минэнерго СССР (НУ) разработано комплектное устройство, включающее в себя нагрузочный трансформатор НТ-74, выполненный на базе втулочного трансформатора ТВ-35-600/5, регулировочного автотрансформатора РНО-250-5 и электроизмерительных клещей. Комплект с одним НТ-74 позволяет получить токи промышленной частоты до 3 кА с длительностью использования его до 20 с, с двумя — более 3 кА. Схема прогрузки автоматического выключателя током выше 3 кА показана на рис. 89.

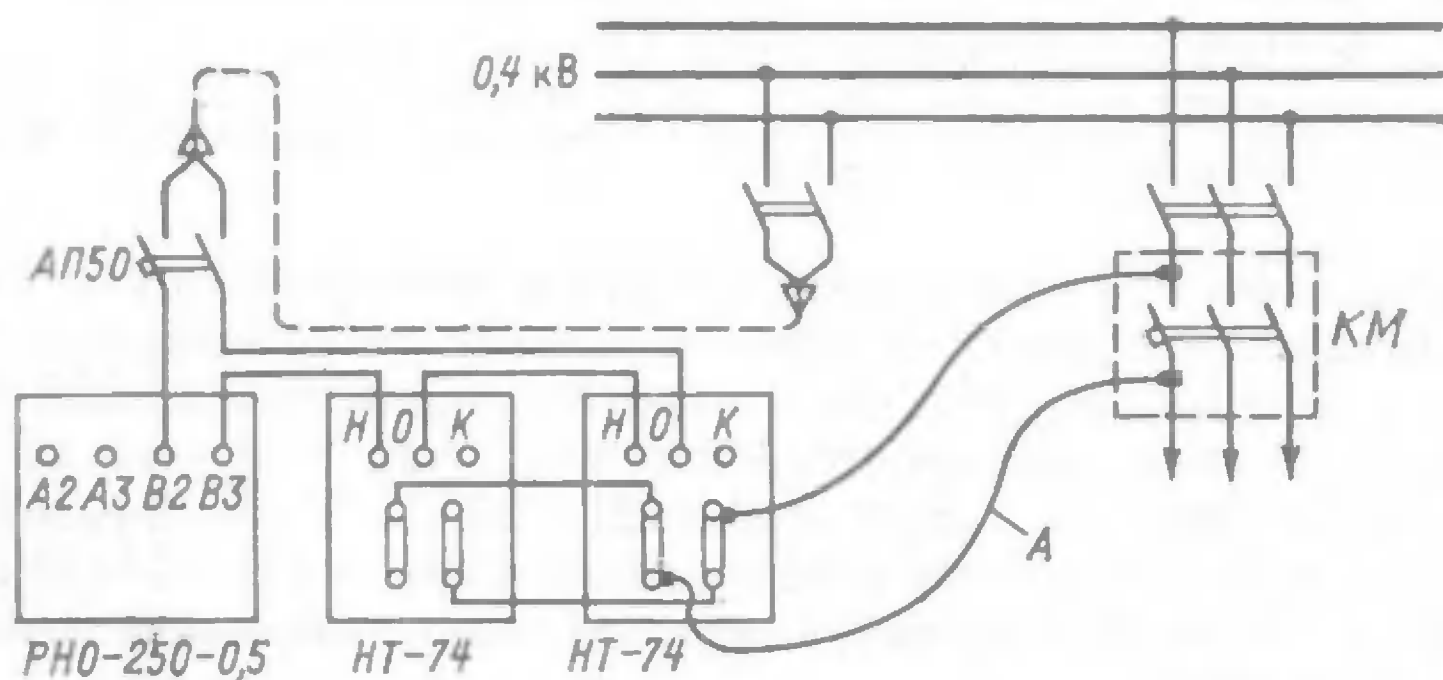


Рис. 89. Схема прогрузки автоматического выключателя током выше 3 кА при питании от сети 380 В:

А — место наложения электроизмерительных клещей Ц91М

Этим же управлением разработано устройство проверки электрооборудования 0,4 кВ УП-0,4, предназначенное для проверки магнитных пускателей, контакторов, реле времени, промежуточных реле, реле напряжения, токовых реле, автоматических выключателей с током отсечки до 500 А. Технические данные и порядок пользования им проводятся в [2].

Устройство проверки коммутационной аппаратуры

УПКА-1 (разработка НУ) предназначено для проверки комплектных устройств (КРУ и КРУН). Устройство позволяет без специальной сборки схем проверки, одним лишь подключением его к зажиму КРУ или КРУН и с помощью разъемов к соединительным шлангам тележек производить опробование выключателя с измерением времени и скорости включения и отключения, проверку напряжения срабатывания и возврата контактора включения и электромагнита отключения, проверку работы привода при пониженном (на 20 %) напряжении. Технические данные и порядок пользования устройством приводятся в [2].

Регулирование фазы и частоты при измерениях

При проверке устройств релейных защит и в некоторых других случаях требуется регулирование угла фазового сдвига между током и напряжением, что осуществляется с помощью *фазорегуляторов*. Для этой цели используются чаще всего индукционные фазорегуляторы, представляющие собой заторможенный асинхронный электродвигатель с фазным ротором (рис. 90). Устанавливая ротор такого электродвигателя с помощью рукоятки и редуктора в различные положения, можно получить различные углы между напряжениями статора U_1 и ротора U_2 в пределах $0-360^\circ$ (рис. 91). Если нужно регу-

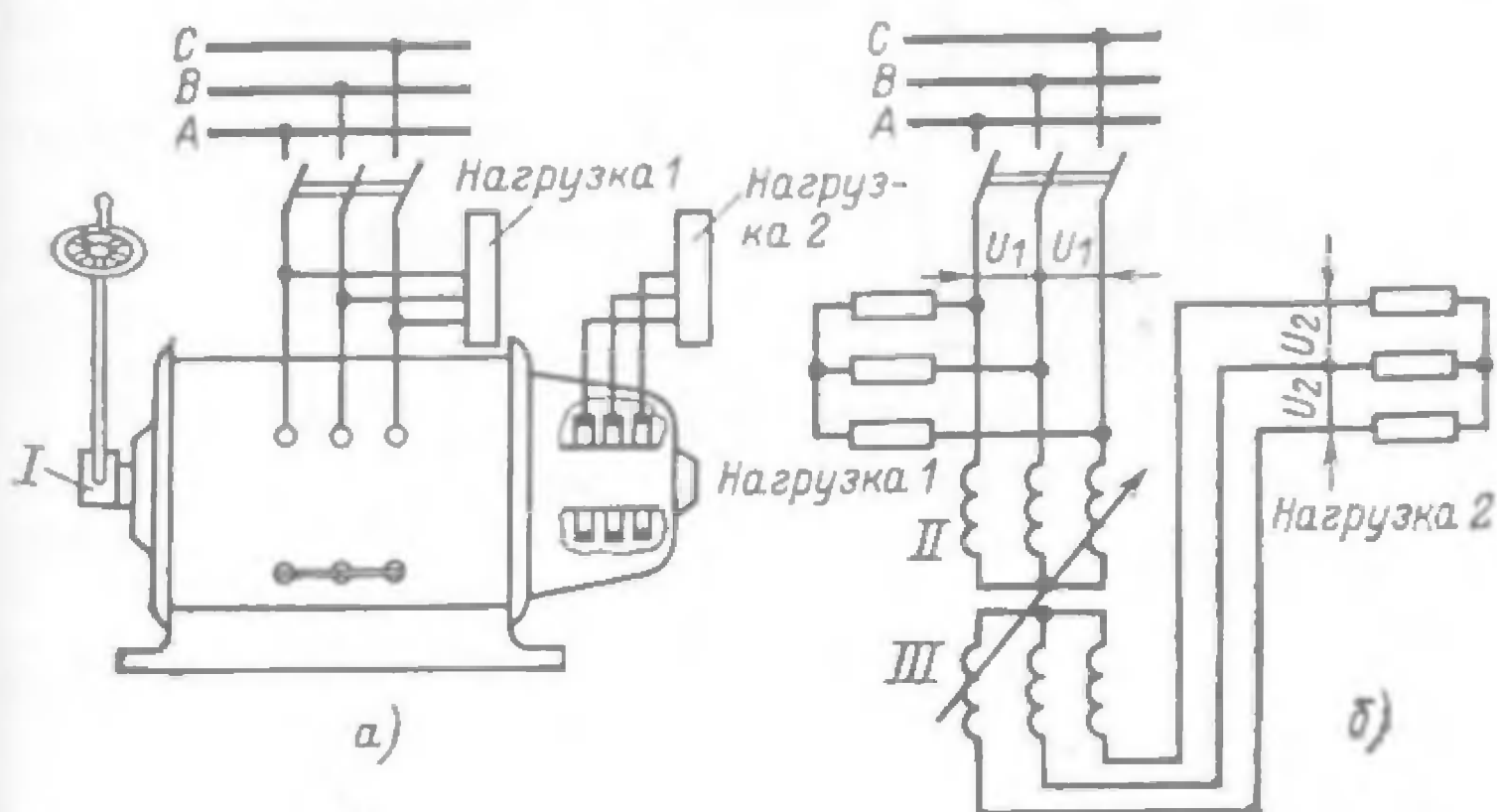


Рис. 90. Трехфазный индукционный фазорегулятор:

а — общий вид; б — схема включения; I — редуктор; II — статор; III — ротор

лизовать фазу напряжения относительно напряжения, то на нагрузку 1 подается напряжение статора U_1 , а на нагрузку 2 — напряжение с колец ротора U_2 . Тогда угол α в зависимости от положения ротора будет изменяться

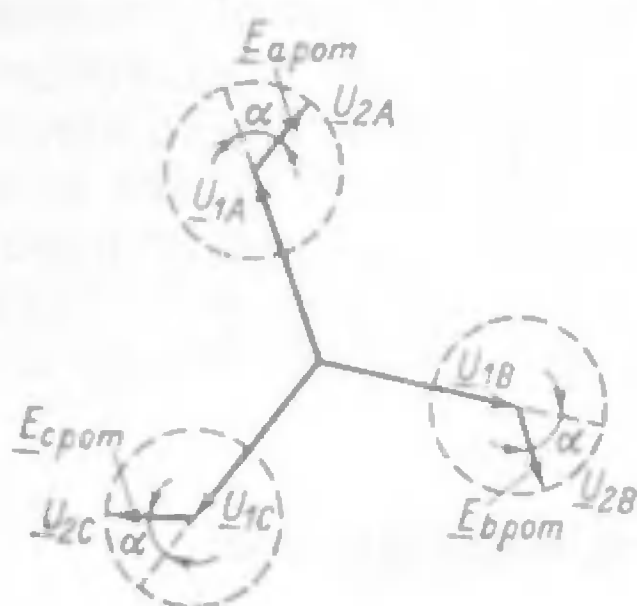


Рис. 91. Векторная диаграмма напряжений индукционного фазорегулятора

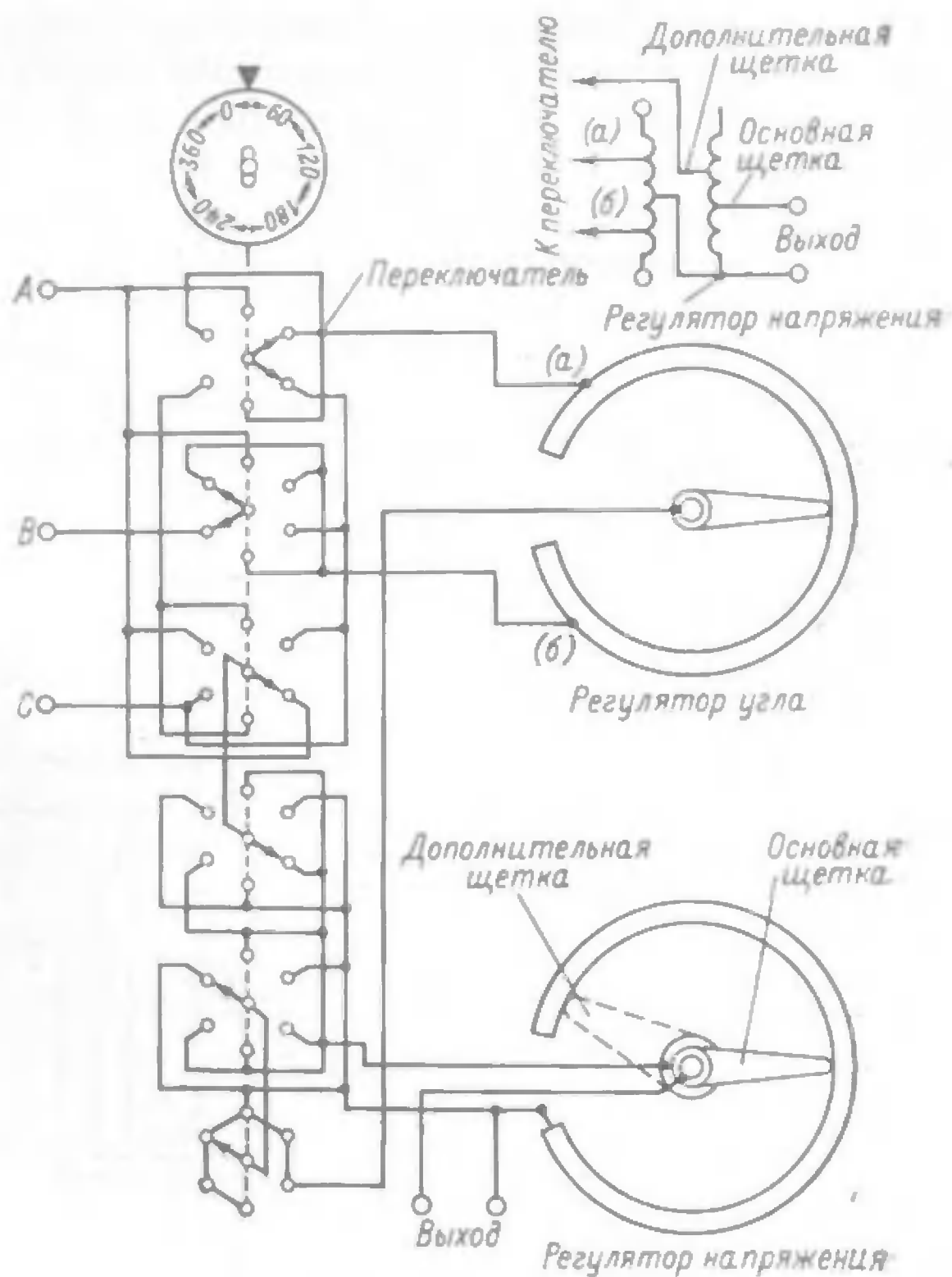


Рис. 92. Фазорегулятор Мосэнерго на автотрансформаторах

Рис. 93. Внешний вид генератора ГТЧ

между напряжениями U_2 и U_1 . Если нужно регулировать фазу тока относительно напряжения, то в токовую цепь нагрузки подается питание от напряжения статора U_1 через последовательно включенные активные сопротивления (для того чтобы ток I_2 совпадал по фазе с U_1), а напряжение на нагрузку подается с колец ротора U_2 . Тогда угол в зависимости от положения ротора будет изменяться

между напряжением U_2 и током I_2 . Промышленность выпускает индукционные фазорегуляторы типов МАФ-22, ФР-41, ФР-82-2, технические данные которых приводятся в [2]. Однако эти фазорегуляторы тяжелы, громоздки и неудобны при частых транспортировках.

В связи с этим более широкое применение в практике наладочных работ нашли фазорегуляторы, выполненные на автотрансформаторах. Пример такого фазорегулятора, изготавливаемого в Мосэнерго, показан на рис. 92. Описание его приводится в [2]. В комплектных устройствах, выпускаемых промышленностью, предусмотрены для регулирования фазы тока и напряжения коммутационные фазорегуляторы.

При настройке реле частоты и проверке частотомеров наиболее широко используются *генераторы технической частоты* (ГТЧ), изготавливаемые энергосистемами. Внешний вид такого генератора представлен на рис. 93.

При проверках и настройках высокочастотных каналов связи и телемеханики используются специальные генераторы, технические данные которых приводятся в [2].



Портативные выпрямительные устройства

При проверках реле и приборов в лабораторных условиях на объектах при отсутствии других штатных возможностей используются портативные *выпрямительные*

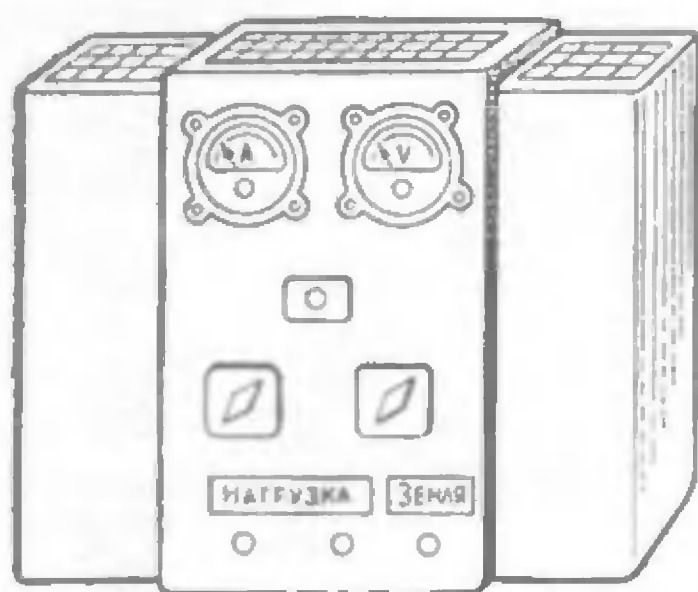


Рис. 94. Внешний вид селенового выпрямителя ВСА-4

устройства типа ВСА-4 (рис. 94) или ВСА-10 (рис. 95) с номинальным выпрямленным напряжением 240 и 120 В, номинальным током 2—2,5 А и питанием от сети переменного напряжения 110, 127 и 220 В.

Во всех комплектных устройствах, предназначенных для проверок релейных защит, предусмотрен источник выпрямленного напряжения, поэтому при использовании их других источников выпрямленного тока не требуется.

Некоторыми электромонтажными организациями из-

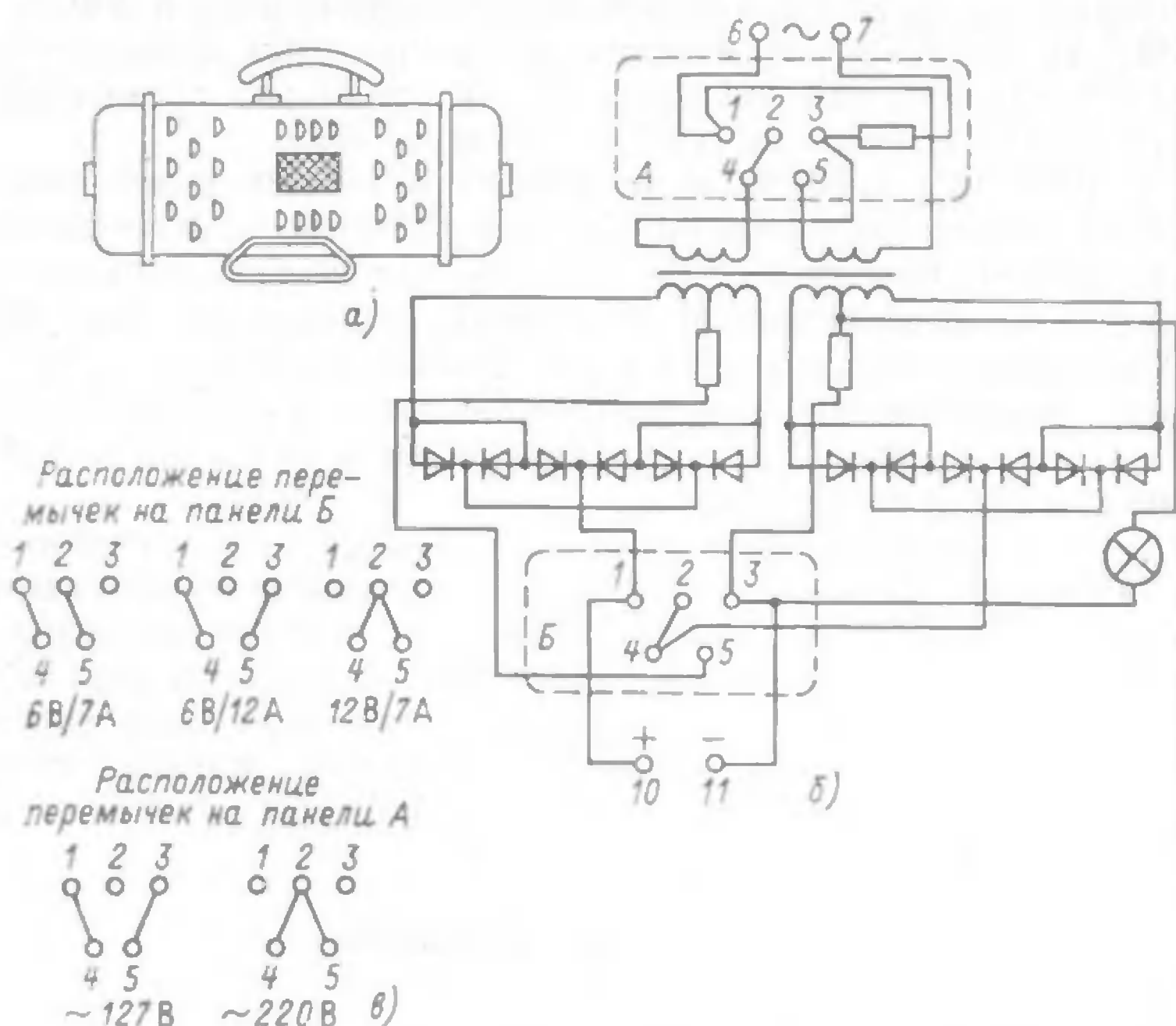


Рис. 95. Внешний вид (а), принципиальная схема (б) и схема расположения переключателей (в) выпрямителя ВСА-10.

готавливаются на своих заводах мощные выпрямительные установки для опробования вновь смонтированных выключателей и для прогревов обмоток силовых трансформаторов при их проверках и сушке изоляции. В качестве примера можно привести установку с твердыми выпрямителями типа ВУ-650, изготавливаемую трестом «Гидроэлектромонтаж» Минэнерго СССР, мощностью 650 кВ·А при питании от сети 380/220 В.

Указатели напряжения

Для проверки наличия напряжения в различных точках настраиваемых схем вторичных устройств пользуются специальными *указателями* промышленного изготовления (рис. 96). При прикосновении концом такого указа-

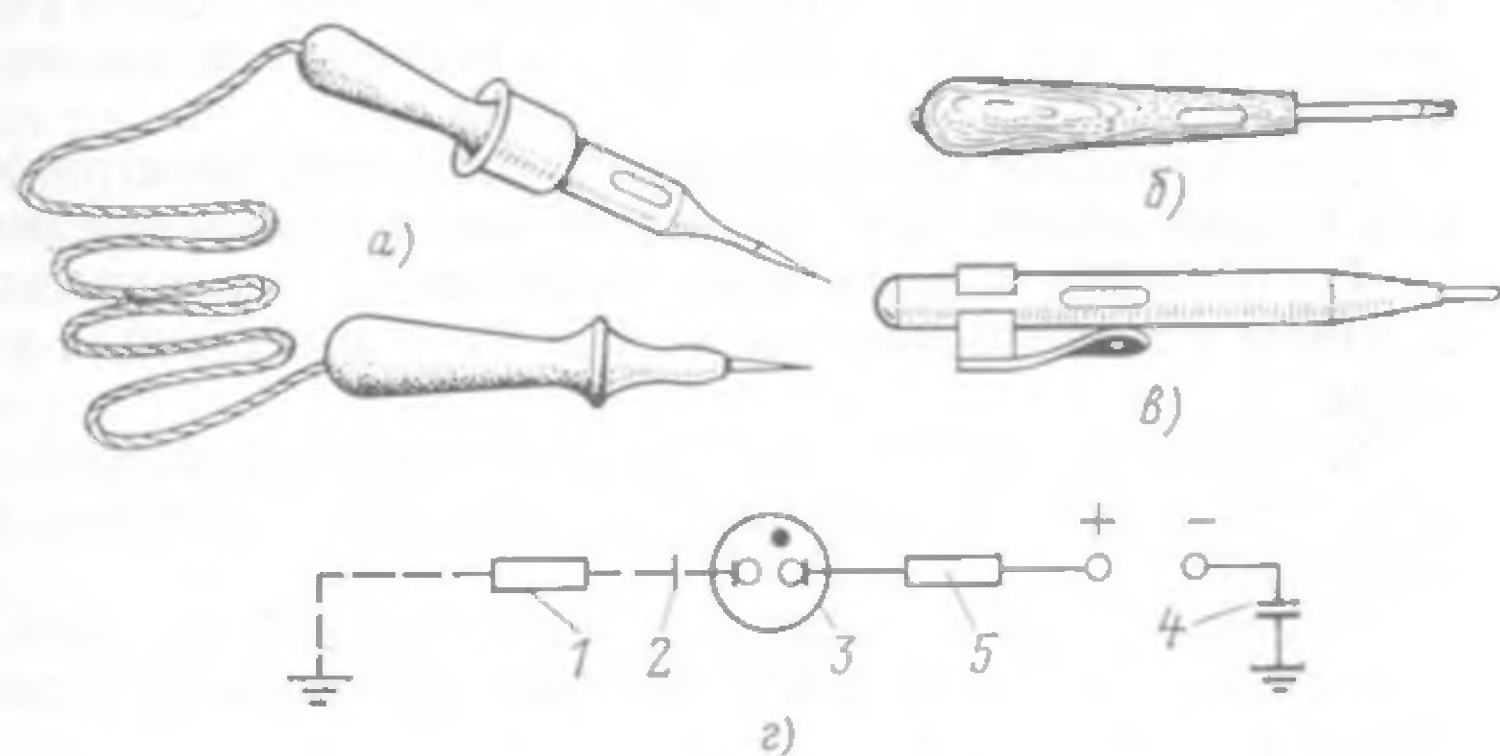


Рис. 96. Указатели напряжения:

а — двухполюсный токоискатель ТИ-2; *б* — отвертка-указатель; *в* — карманный указатель; *г* — электрическая схема замещения указателя при измерении; 1 — эквивалентное сопротивление человека; 2 — металлический наконечник на конце однополюсного индикатора; 3 — неоновая лампа; 4 — емкость отрицательного полюса по отношению к земле; 5 — добавочный резистор в индикаторе

теля к проверяемому месту, держа рукоятку в одной руке и второй прикасаясь заземленной конструкции, загорается встроенный в указатель индикатор, выполняемый обычно с помощью неоновой лампы. Последняя удобна тем, что при проверке наличия постоянного напряжения указывает его знак (+ или —). Если указатель двухполюсный, то наличие напряжения проверяется одновременным касанием обоих концов указателя.

Для проверки наличия высокого напряжения приме-

няются указатели с неоновым свечением типов УВН-80М, УВН-90. Диапазон проверки первыми 2—10 кВ при пороге свечения 550 В, вторыми 9—110 кВ при пороге свечения 9 кВ.

Для фазировки цепей и трансформаторов применяются указатели типов УВНФ-10 и УВНФ-35/110.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Общие требования. Проверка состояния изоляции обмоток

В § 1 отмечена общность конструктивных узлов и элементов у различных видов электрооборудования. Это в равной степени относится к многочисленным видам электрических машин, на которые в связи с этим можно распространить методы оценки их состояния, описанные в § 1 и 2.

Весь комплекс работ по оценке состояния электрических машин может быть разбит на три основные группы:

1. Проверка и испытания собственно электрической машины в неподвижном ее состоянии и в состоянии работы.

2. Проверки и испытания вспомогательных устройств (систем смазки, охлаждения, возбуждения у синхронных машин).

3. Проверка и наладка вторичных устройств (релейных защит, устройств синхронизации, автоматики, управления и блокировок).

Заключение о возможности ввода электрической машины в эксплуатацию делается по результатам всего комплекса работ, т. е. по всем трем группам.

Основные нормативные требования, служащие основой для заключения, изложены в разд. 3—5 Норм. При оценке состояния головных образцов электрических машин объем испытаний может быть расширен по согласованию с заказчиком и заводом-изготовителем.

Наиболее важной проверкой, что следует из § 1, является проверка состояния изоляции.

Частично состояние изоляции вновь монтируемых машин проверяется внимательным осмотром, когда она еще разобрана. Уже тогда могут быть выявлены явные наружные повреждения и приняты своевременные меры по их устранению.

Основным же критерием для оценки общего состояния изоляции является измеренное значение сопротивления изоляции $R_{из}$. У машин малой мощности (напряжением до 1 кВ) этим и ограничиваются. У машин же крупных (напряжением выше 1 кВ), кроме того, измеряют коэффициент абсорбции $K_{абс}$, являющийся дополнительным критерием при определении степени увлажненности изоляции обмоток.

Результаты измерений приводят к температуре предыдущих измерений (см. § 1), которыми для новых машин являются заводские измерения, приводимые в протоколах заводской документации. Соответствие им указывает на отсутствие в изоляции влаги и явных повреждений.

Первые измерения $R_{из}$ и $K_{абс}$ производятся сразу после установки машины на фундамент. Перед измерениями производятся тщательный осмотр и продувка машины от пыли и грязи, при этом особое внимание уделяется изоляции лобовых частей в местах выхода обмоток из пазов, состоянию крепления лобовых частей, клиньев в пазах, бандажей, состоянию лаковых покрытий и т. д., состоянию заземлений. У машин постоянного тока, кроме того, производится осмотр якоря, полюсов, межполюсных соединений, коллектора, щеток и щеткодержателей.

При оценке состояния увлажненности и решении вопросов о необходимости сушки компаундированной, терморезистивной и гильзовой изоляции обмотки статора генератора руководствуются указаниями «Инструкции по определению возможности включения вращающихся электрических машин переменного тока без сушки» (см. Нормы, приложение 2). Для генераторов с бумажно-масляной изоляцией необходимость сушки определяется инструкцией завода-изготовителя.

Измерение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции производится для каждой фазы, а при невозможности такого измерения — обмотки в целом по отношению к корпусу или к якорю и другим заземленным обмоткам. При емкости обмотки более 0,01 мкФ применение мегаомметров с ручным приводом может привести к ошибкам, и поэтому в этом случае следует пользоваться мегаомметрами с выпрямительными приставками или моторным приводом. После окончания измерений обмотки следует присоединить к контуру заземления для снятия электростатического заряда не менее чем на 2 мин. При

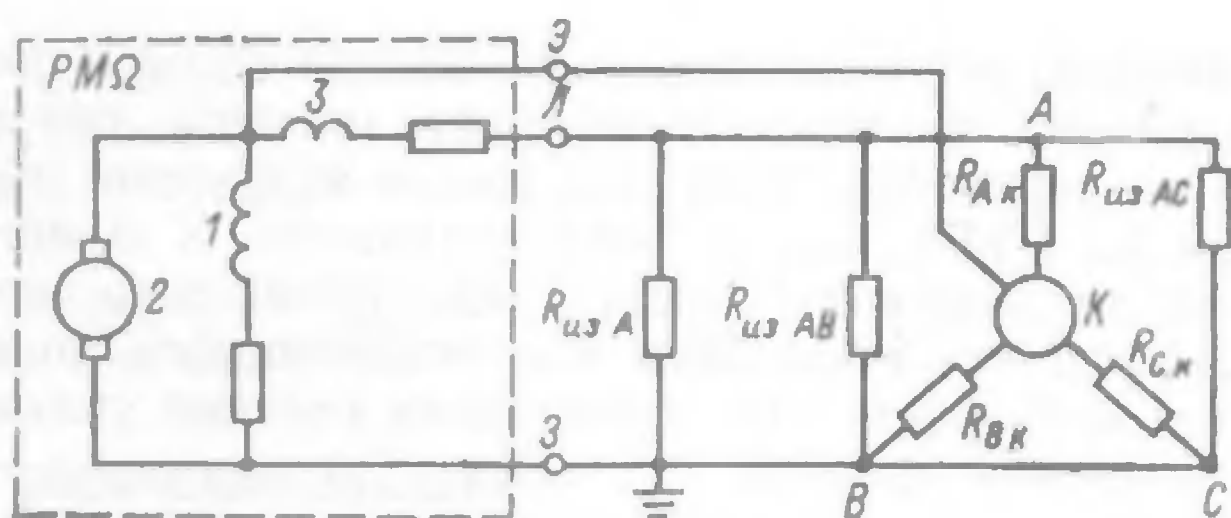


Рис. 97. Схема измерения $R_{из}$ обмоток статора генератора с водяным охлаждением:

$R_{из А}$ — сопротивление изоляции фазы A по отношению к корпусу; $R_{из АВ}$ — то же по отношению к фазам B и C ; $R_{из АС}$ — то же по отношению к фазам B и C ; $R_{Ак}$, $R_{Вк}$, $R_{Ск}$ — сопротивление шлангов фаз A , B , C ; K — коллекторы системы охлаждения; $PMΩ$ — мегаомметр; 1 — малая рамка; 2 — генератор; 3 — большая рамка; Л, З, Э — зажимы

измерении сопротивления изоляции обмотки статора с непосредственным охлаждением принимают меры по уменьшению погрешности, вызванной остающейся после слива воды влажностью внутренней поверхности шлангов. Для этого измерения производят по схеме, приведенной на рис. 97. В этом случае коллекторы будут иметь практически такой же потенциал, как и испытываемая фаза, присоединенная к линейному зажиму мегаомметра. Поэтому по поверхности шлангов этой фазы ток проходить не будет и их сопротивление не окажет влияния на результат измерения сопротивления фазы.

Допустимые значения $R_{из}$ для отдельных узлов генераторов, электродвигателей и напряжения мегаомметров, требующихся для измерения, даны в [1 и 2]. Если R_{60} или $K_{абс}$ удовлетворяет требованиям Норм, производится измерение токов утечки на выпрямленном напряжении для построения характеристики $i_{ут} = f(U_{исп})$ не менее чем для пяти точек в пределах от U_{min} до U_{max} равными ступенями (предварительно проверяется отсутствие утечек в испытательной схеме путем подъема напряжения на нее без нагрузки).

Значения U_{max} для электрических машин установлены Нормами в зависимости от $U_{ном}$ (включительно) следующие:

$U_{ном}$, кВ	До 6,6	6,6—20,0	20,0—24,0
U_{max} , кВ	$1,28 \cdot 2,5 U_{ном}$	$1,28(2U_{ном} + 3)^*$	$1,28(2U_{ном} + 1)$

* Для ТГВ-200 и ТГВ-300 принимаются соответственно 40 и 50 кВ.

Рекомендуемое значение ступеней при испытании — $0,5 U_{\text{ном}}$. На каждой ступени напряжение выдерживается в течение 1 мин и производится отсчет $i_{15''}$ и $i_{60''}$. По характеру изменения токов в зависимости от испытательного напряжения, асимметрии токов по фазам и характеру изменения токов в течение 1 мин можно судить о степени увлажнения изоляции и наличии дефектов.

По 60-секундным значениям токов утечки при испытательном напряжении U_{min} и U_{max} определяется коэффициент нелинейности $K_{\text{нелин}}$:

$$K_{\text{нелин}} = \frac{i_{\text{утmax}} U_{\text{min}}}{i_{\text{утmin}} U_{\text{max}}},$$

причем минимальное напряжение U_{min} принимается равным $0,5 U_{\text{ном}}$. У сухой изоляции коэффициент нелинейности не превосходит 2—3; для увлажненной он равен 3—4, но иногда у очень влажной изоляции $K_{\text{нелин}}$ мал, поэтому его значения следует сопоставлять с абсолютным значением сопротивления изоляции.

У генераторов с водяным охлаждением изоляция обмоток статора подвергается испытанию выпрямленным напряжением, если это позволяет конструкция.

Испытание изоляции повышенным напряжением, как уже говорилось в § 1, делается для выявления местных дефектов — трещин, изломов, проколов, расслоений, воздушных включений и т. п. Испытанию подвергается каждая фаза обмотки по отношению к корпусу и другим заземленным обмоткам.

У машин с параллельными ветвями при наличии между ними полной изоляции испытаниям подвергается каждая ветвь по отношению к другим обмоткам.

Ввиду значительного емкостного тока, проходящего при испытании обмоток генераторов и некоторых других электрических машин, мощность испытательных установок и соответственно регулировочных трансформаторов должна выбираться с учетом мощности заряда емкости обмоток по табл. 1.

После испытания обмоток статора генератора в течение 1 мин (на переменном напряжении) напряжение снижается до номинального значения и в течение 5 мин ведется наблюдение за характером коронирования лобовых частей обмоток, которое допускается в виде голубого и белого свечений. Свечение желтого и красноватого цвета, наличие дыма и тления бандажей являются призна-

Таблица 1. Емкость обмоток статора и мощность установки для испытания изоляции отдельных турбогенераторов и синхронных компенсаторов

Тип	Емкость одной фазы, мкФ	Мощность испытательной установки, кВт, А, при пофазном испытании	Тип	Емкость одной фазы, мкФ	Мощность испытательной установки, кВт, А, при пофазном испытании
ТВ-60-2	0,174	17,7	ТВВ-320-2	0,305	130
ТВФ-60-2	0,26	30	ТГВ-300	0,43	160
ТВФ-100-2	0,24	28,0	ТВМ-300	0,32	120
ТВ2-150-2	0,28	75	ТВВ-500-2	0,25	93
ТВВ-165-2	0,154	47	ТЗВ-800-2	0,39	205
ТВФ-200-2	0,44	56	КСВ-37500-11	0,152	19
ТГВ-200	0,4	96	КСВ-50000	0,154	20
ТВВ-200-2	0,105	25	КСВ-100000	0,28	35

ками дефекта в обмотках, требующего уточнения и устранения, после чего испытания повторяются.

После полного окончания монтажа генератора и перед включением его в работу производятся повторные испытания изоляции обмоток номинальным напряжением переменного тока или $1,5U_{ном}$ выпрямленного напряжения при открытых люках, через которые производится наблюдение за поведением изоляции. Длительность испытания — 1 мин. При обнаружении загорания или запаха гари, электрических разрядов испытание прекращается, люки как можно быстрее закрываются и в статор подается инертный газ.

Гидрогенераторы имеют ту особенность по сравнению с турбогенераторами, что если они собираются на месте монтажа, но не на фундаменте, то его обмотки испытываются по нормам, отличным от норм испытаний турбогенераторов [2]. После установки его на фундамент испытания производятся по тем же нормам, что и для турбогенераторов [2]. Такая особенность обусловлена тем, что гидрогенераторы поступают на стройплощадку в разобранном виде.

Для испытания изоляции обмоток мелких электродвигателей низкого напряжения, машин постоянного тока и пускорегулирующей аппаратуры пользуются измерительными трансформаторами напряжения типов НОМ-3 и НОМ-6. Испытания проводятся в соответствии с методическими описаниями, приведенными в § 1 и 2.

Испытания повышенным напряжением переменного тока обмоток статора генератора с водяным охлаждением проводятся при обязательной циркуляции с номинальным расходом охлаждающей воды в трубопроводах во избежание недопустимых перегревов фторопластовых участков трубопроводов при проведении испытаний, при этом удельное сопротивление конденсата должно быть не ниже 75 Ом·см. Испытание обмоток статора рекомендуется производить до ввода ротора в него, обмотку ротора — при номинальной частоте вращения генератора.

Оценка состояния токоведущих частей электрических машин

Основным критерием оценки состояния токоведущих частей электрических машин, как следует из §1, является сопротивление их постоянному току. Измерения у крупных машин производятся компенсационным методом с помощью КП-59, двойным мостом или методом амперметра—вольтметра с использованием приборов класса точности не ниже 0,5 и подключением милливольтметра непосредственно к выводам обмоток. Измерение температуры обмоток при этом у крупных машин производится ртутными термометрами или термондикаторами не менее чем в четырех точках статора и ротора, в том числе в верхних и нижних точках лобовых частей.

За температуру обмоток принимается среднее значение из всех измеренных. Измерение сопротивления производится несколько раз, а при использовании метода амперметра—вольтметра—при нескольких значениях тока (не менее 4—5 раз). За сопротивление постоянному току принимается среднее значение из всех измеренных. Согласно требованиям Норм измеренные значения сопротивления постоянному току по отдельным фазам не должны различаться более чем на 2 %, а по отдельным параллельным ветвям — более чем на 5 %. Кроме того, результаты измерения не должны отличаться от предыдущих результатов, в том числе заводских измерений, более чем на 2 %. Для удобства оценки и сравнения измеренные значения сопротивлений приводятся к температуре 15 °С (см. § 2).

Значительные отклонения от допускаемых значений указывают на вероятность наличия плохих паяк в лобовых частях статора, а чаще всего в местах подсоединения

обмоток к выводам или в токоподводах ротора. Для выявления плохих паяк в обмотках статора обмотка статора прогревается постоянным или переменным током от постороннего источника. Во время прогрева прощупываются рукой лобовые части и по наиболее нагретому месту определяется дефектная пайка. Токоподводы обмотки ротора проверяются тщательной ревизией с измерением сопротивления отдельных участков обмотки постоянному току. Выявленный дефект устраняется ремонтным персоналом электроцеха станции или заводом, после чего соответствующая обмотка вновь подвергается проверке.

Производственным объединением «Союзтехэнерго» разработан прибор КВТ-1, позволяющий определять дефектные пайки стержней генератора в лобовых частях статора без прогрева обмотки и снятия изоляции. Для этой же цели используется прибор ИВ-3М (искатель вихревой).

При измерениях сопротивления постоянному току обмотки ротора используются специальные бандажи с болтовыми соединениями в местах разъема, надеваемые на предварительно защищенные кольца ротора.

Измерение сопротивления постоянному току обмоток статора асинхронных электродвигателей производится между линейными выводами, если каждая обмотка фазы не имеет отдельных выводов и соединение их выполняется внутри (в звезду или треугольник). В этом случае сопротивление фазы определяется по формулам:

для соединения в звезду

$$R_A = 0,5 (R_{AB} + R_{AC} - R_{BC});$$

$$R_B = 0,5 (R_{AB} + R_{BC} - R_{AC});$$

$$R_C = 0,5 (R_{AC} + R_{BC} - R_{AB});$$

для соединения в треугольник

$$R_A = R_{AB} + \frac{(R_{AB} - R_{BC} + R_{AC})(R_{AB} + R_{BC} - R_{AC})}{2(R_{BC} + R_{AC} - R_{AB})};$$

$$R_B = R_{BC} + \frac{(R_{AB} + R_{BC} - R_{AC})(R_{BC} + R_{AC} - R_{AB})}{2(R_{AB} - R_{BC} + R_{AC})};$$

$$R_C = R_{AC} + \frac{(R_{AB} - R_{BC} + R_{AC})(R_{BC} + R_{AC} - R_{AB})}{2(R_{AB} + R_{BC} - R_{AC})};$$

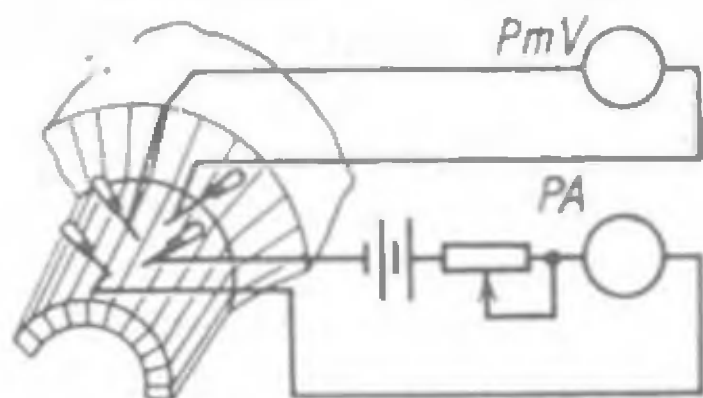
где R_{BA} , R_{AC} , R_{BC} — сопротивления, измеренные между выводами A и B , A и C , B и C .

При наличии отдельных выводов каждой обмотки измеряется сопротивление непосредственно каждой фазы.

Измерение сопротивления постоянному току обмоток ротора у электродвигателей с фазным ротором производится так же, как и обмоток ротора генераторов.

Измерение сопротивления постоянному току обмоток машин постоянного тока производится до их сборки. Сопротивление параллельных обмоток возбуждения может измеряться одинарным мостом, обмоток дополнительных полюсов компенсационной и дополнительной обмоток возбуждения — двойным мостом. Измерение сопротивления между каждой парой (смежной) пластин по окружности коллектора для определения состояния паяк «петушков» производится микроомметром или методом амперметра — вольтметра по схеме, приведенной на рис. 98, с помощью щупов, магнитоэлектрического ампермет-

Рис. 98. Схема проверки состояния коллекторных пластин машин постоянного тока



ра с пределами измерения 10—60 А и милливольтметра с пределами измерения 10—60 мВ.

Измерения производятся при токе, достаточном для четкого измерения напряжения, и этот ток поддерживается неизменным при всех измерениях, что дает возможность не подсчитывать для каждого измерения сопротивления, а сравнивать между собой только измеренные напряжения. Состояние паяк «петушков» считается удовлетворительным, если значения сопротивлений или напряжений при одном и том же в якоре не отличаются более чем на 10 %. Пайки, у которых отклонения превышают допустимые, подлежат ремонту.

Температура обмоток при измерениях может определяться по температуре окружающего воздуха. Все результаты приводятся, как и в предыдущих случаях, к температуре 15 °С и сравниваются с результатами завод-

ских измерений. Значительных отклонений, если состояние обмоток удовлетворительное, не должно быть.

После полной сборки машины постоянного тока производится повторное измерение сопротивления постоянному току всех обмоток для проверки качества сборки и получения исходных данных для последующих измерений в условиях эксплуатации. Если соединение между обмотками якоря, компенсационной и дополнительной осуществляется внутри корпуса машины, а не на доске зажимов, то при повторных измерениях измеряется общее сопротивление этих обмоток при вставленных щетках и при нескольких положениях якоря. За результат принимается в последнем случае средний из всех.

У катушек полюсов явнополюсных роторов синхронных машин производится измерение сопротивления переменному току обмоток полюсов Z . Это измерение осуществляется для проверки целостности обмоток, отсутствия витковых замыканий в них и качества межполюсных соединений. Измерение производится подачей переменного напряжения на каждую катушку полюса от постороннего источника через трансформатор 127—220/12—36 В с измерением тока и напряжения, требующихся для определения Z катушек. Состояние катушек можно считать удовлетворительным, если полное сопротивление их Z не отличается значительно.

Согласно требованиям Норм полное сопротивление обмотки измеряется также и у обмоток неявнополюсных роторов синхронных машин. Измерение производится подачей напряжения 220 В на обмотку ротора, находящегося в неподвижном состоянии, в целях выявления витковых замыканий в ней, которые могут не проявиться в неподвижном роторе, а также на вращающийся ротор при трех-четырех значениях частоты, в том числе номинальном.

Определение полярности обмоток и чередования фаз

Полярность обмоток статора асинхронных машин, т. е. соответствие ее заводской маркировке, определяется с помощью поляромера, как это описано в § 2. Правильность заводской маркировки важна для правильности подключения питающего кабеля к электродвигателю и обеспечения необходимого для приводимого механизма направления вращения.

Правильное направление вращения обеспечивается присоединением жил кабеля к выводам в соответствии с принятым (стандартным) чередованием и раскраской фаз в последовательности, соответствующей одному из следующих вариантов: фаза *A* (I; Ж) — к выводу *C1*, *C2* или *C3*; фаза *B* (II; З) — к выводу *C2*, *C3* или *C1*; фаза *C* (III; К) — к выводу *C3*, *C1* или *C2*.

Окончательная оценка правильности маркировки и подключения кабеля дается после опробования электродвигателя на холостом ходу (при отсоединенном приводимом механизме).

Проверка полярности и согласования обмоток машин постоянного тока более трудоемка. Стандартное обозначение выводов обмоток следующее:

	Начало	Конец
Обмотка якоря	<i>Я1</i>	<i>Я2</i>
Компенсационная обмотка . .	<i>К1</i>	<i>К2</i>
Обмотка добавочных полюсов	<i>Д1</i>	<i>Д2</i>
Последовательная обмотка		
возбуждения	<i>C1</i>	<i>C2</i>
Параллельная обмотка воз-		
буждения	<i>Ш1</i>	<i>Ш2</i>
Пусковая обмотка	<i>П1</i>	<i>П2</i>
Уравнительный провод и урав-		
нительная обмотка	<i>У1</i>	<i>У2</i>
Обмотки особого назначения	<i>O1</i> ; <i>O3</i> и т. д.	<i>O2</i> ; <i>O4</i> и т. д.

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 обмотке проходит от начала *1* к концу *2*. Основные случаи согласования обмоток машин постоянного тока в зависимости от режима работы и направления вращения в соответствии с заводской маркировкой приведены на рис. 99. Исходя из этого в режиме генератора ток во всех обмотках, кроме включаемых специально на размагничивание и обмоток возбуждения, при правом вращении должен протекать от конца *2* к началу *1*.

При новых включениях машин постоянного тока проверяется соответствие полярностей обмоток заводским обозначениям выводов, правильность внутренних соединений, а также согласования обмоток основных и дополнительных компенсационных обмоток для данного направления вращения, что важно для обеспечения безыскровой коммутации во время работы.

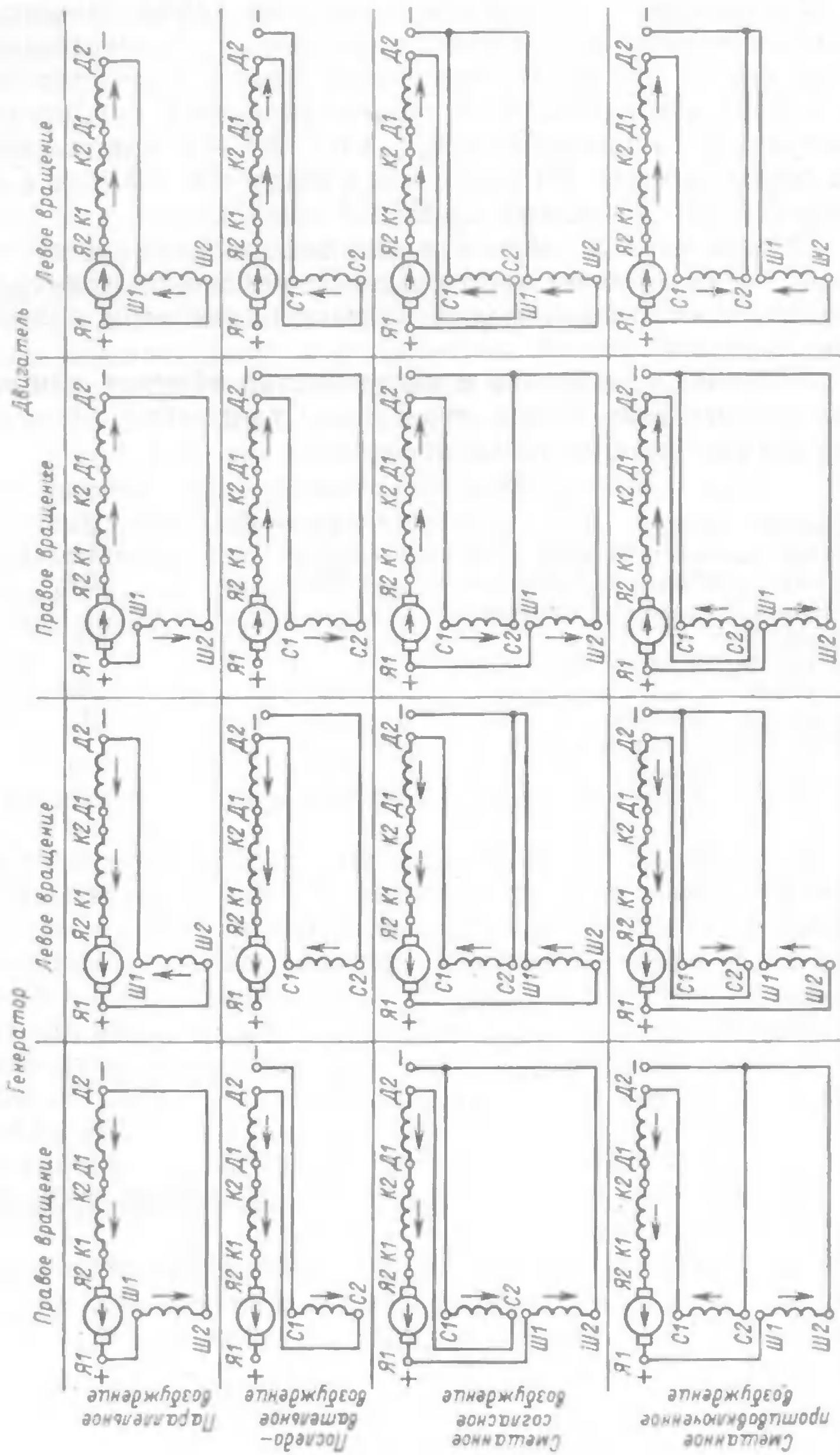


рис. 99. Различные случаи стандартного согласования обмоток машины постоянного тока в зависимости от режима работы и направления вращения в соответствии с заводской маркировкой выводов

Проверка согласованности обмоток главных полюсов производится на собранной машине следующим образом. К одной из обмоток присоединяется переносная аккумуляторная батарея 6—12 В через рубильник (рис. 100),

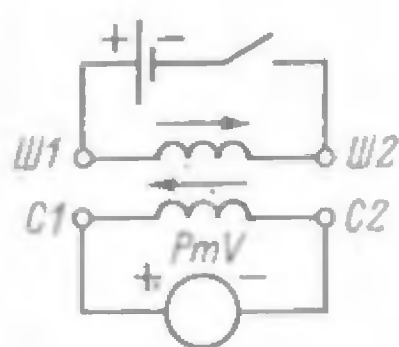


Рис. 100. Проверка согласованности обмоток главных полюсов импульсным методом

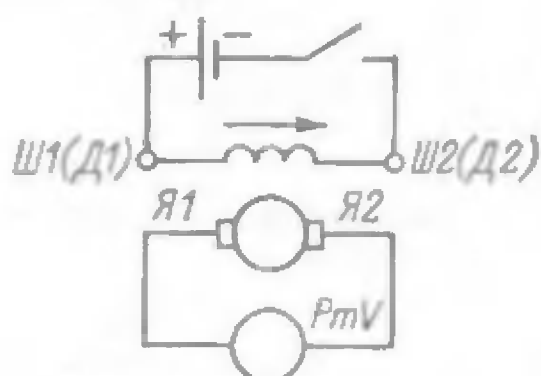


Рис. 101. Проверка согласованности обмоток главных полюсов методом проворачивания якоря

к другой — милливольтметр. Если при включении рубильника стрелка милливольтметра отклонится вправо, а при отключении наоборот, то заводские обозначения обмоток главных полюсов правильны и обмотки согласованы между собой.

Обмотка дополнительных полюсов и главная (параллельная) включаются в схему таким образом, чтобы в них при работе возбuditеля ток протекал от одних однополярных зажимов к другим, например от Ш1 к Ш2 и от Д2 к Д1 для правого вращения и от Ш2 к Ш1, от Д2 к Д1 для левого вращения.

Проверка может быть произведена методом проворачивания якоря. В этом случае собирается аналогичная схема (рис. 101), но милливольтметр присоединяется к якору с любой полярностью зажимов. При согласованности обмоток и правильности заводских обозначений выводов милливольтметр при подаче напряжения на различные обмотки будет отклоняться в одну и ту же сторону.

Правильность соединения обмоток якоря, дополнительных полюсов и компенсационной проверяется на со-

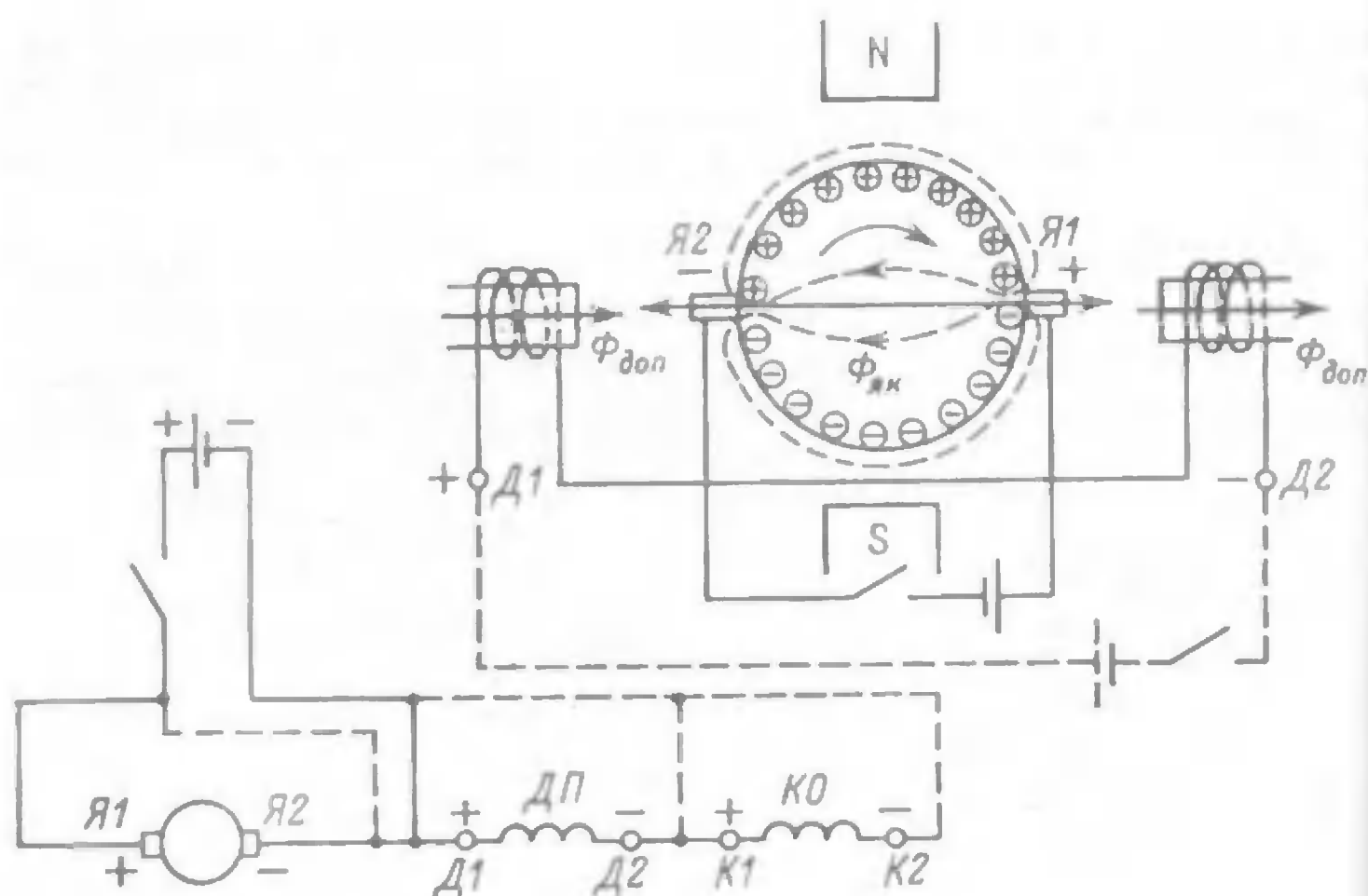


Рис. 102. Схема проверки правильности соединения обмоток якоря, дополнительных полюсов и компенсационной

бранной машине с помощью рамки, сделанной для проверки из нескольких витков провода небольшого сечения, и гальванометра, присоединенного к концам рамки. Рамка вставляется в зазор между дополнительным полюсом и якорем, а к обмоткам якоря и дополнительных полюсов поочередно подключается кратковременно аккумуляторная батарея, как это показано на рис. 102. По отклонениям стрелки гальванометра можно судить о полярности выводов. При противоположных отклонениях гальванометра однополярными следует считать те, к которым подключался один и тот же зажим батареи. В этом случае соединяются вместе разнополярные зажимы выводов, например Я2 с Д1, 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 обмотку дополнительных полюсов и компенсационную обмотку, соединенные вместе, так как соединение выполняется заводом внутри машины. В этом случае устанавливается правильность включения обмотки дополнительных полюсов и компенсационной обмотки по отношению к обмотке якоря.

Правильность соединения обмоток дополнительных полюсов и компенсационной при ее наличии с обмоткой

якоря можно проверить переменным током. Для этого через обмотки, соединенные последовательно, подается переменный ток от сети 127—220 В, регулируемый реостатом R , как это показано на рис. 103. Измеряются ток и напряжение, а по ним определяется сопротивление переменному току Z . Измерение повторяется при изменении полярности обмоток относительно обмотки якоря. Правильным согласованием будет такое, при котором Z наименьшее. Это следует из того, что при правильном согласовании обмоток потоки, создаваемые якорем и обмотками дополнительных полюсов (при наличии — и компенсационной обмоткой), направлены встречно, следовательно, результирующий поток будет меньше, чем он был бы, если бы потоки были одинаково направлены, а сопротивление переменному току цепи с обмоткой пропорционально потоку, связанному с ней. При этой проверке одновременно выявляется наличие витковых замыканий в обмотках.

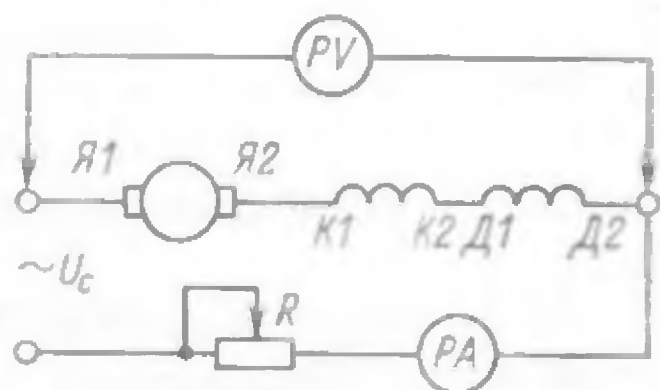


Рис. 103. Проверка правильности соединения обмоток дополнительных полюсов и компенсационной с обмоткой якоря

Правильность соединения компенсационной обмотки с обмотками дополнительных полюсов может быть установлена на разобранной машине простым прослеживанием, как это делается при проверке чередования главных полюсов, т. е. задаваясь условным направлением токов и пользуясь правилом «буравчика». Если соединения обмоток выполняются на сборке зажимов, правильность их устанавливается индуктивным методом. Для этого подаются импульсы от батареи на одну из них и замечается направление отклонения стрелки гальванометра, подключенного к другой, при этом плюс батареи и плюс гальванометра подключаются к выводам Д1 и К1. Они однополярны, если отклонения гальванометра в обоих случаях положительны, и тогда соединяются вместе разнополярные выводы, т. е. Д2 и К1.

Для правильного присоединения к возбудителю внешних цепей и приборов определяется полярность выводов якоря (щеток). Согласно ГОСТ положительными для

правого вращения должны быть выводы якоря *Я1* и обмотки возбуждения *Ш1*. Это может проверяться двумя способами.

1-й способ. Плюс батареи подключается к *Ш1* или *Ш2* в зависимости от направления вращения якоря. К выводам якоря подключается милливольтметр (плюс прибора соединяется с выводом *Я1*), и якорь резко приводится во вращение. Если заводская маркировка правильная, то милливольтметр отклонится в правую сторону.

В противном случае внешние цепи подключают, исходя из установленной при проверке полярности.

2-й способ применяется, когда якорь нельзя привести во вращение. В этом случае к якорю возбуждателя между коллекторными пластинами в точках, равноотстоящих от разноименных смежных щеток, подключается с помощью щупов милливольтметр (рис. 104). В момент подключения к обмотке возбуждения батареи с соответствующей заводской маркировке полярностью

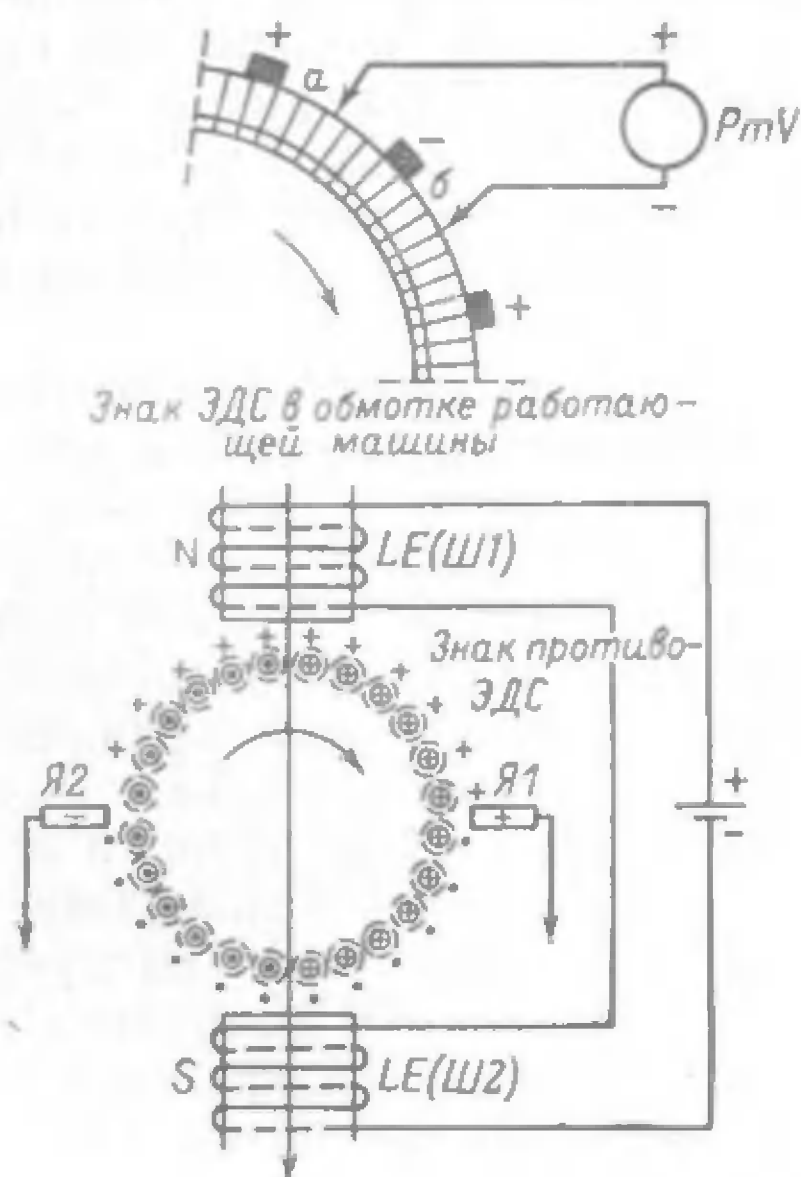


Рис. 104. Определение полярности выводов якоря

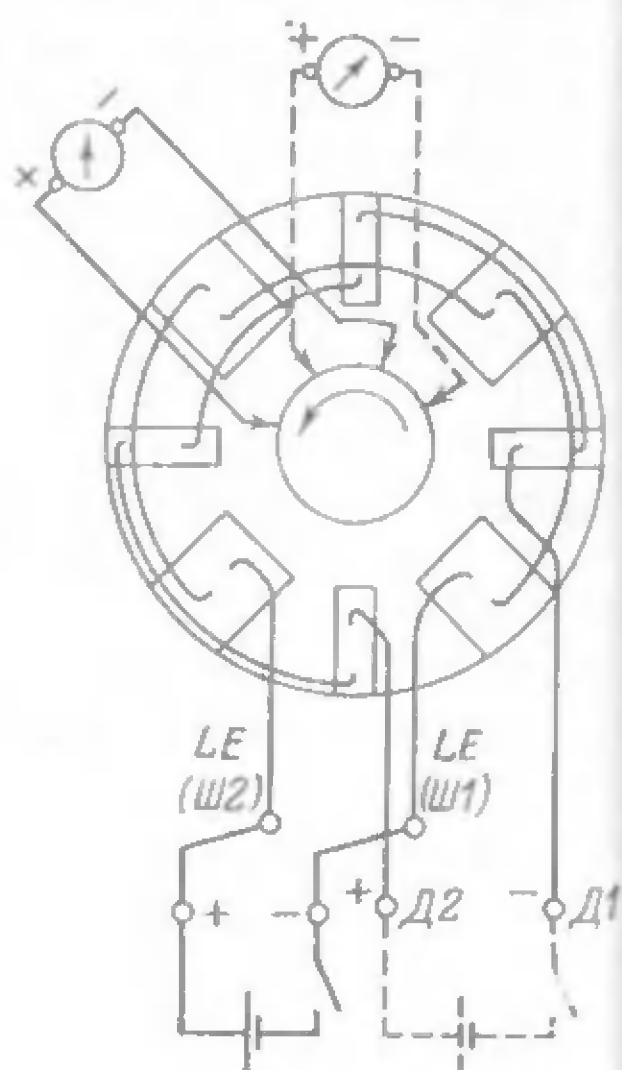


Рис. 105. Проверка чередования основных и дополнительных полюсов на собранном возбуждателе

в обмотке якоря на основе закона электромагнитной индукции возникает противо-ЭДС, имеющая в отдельных проводниках знаки, показанные в кружочках на рисунке.

Знаки ЭДС таковы, как будто физическая нейтраль, имеющая место при работе машины, сместилась по направлению вращения якоря на половину полюсного деления (совпав с направлением потока основных полюсов). Если при этом милливольтметр, подключенный к якорю по линии образовавшейся физической нейтрали, отклонится вправо, то полярность ЭДС в точке *а* положительная, а в точке *б* отрицательная. Полярность щеток соответствует полярности той точки (*а* или *б*) коллектора, которая расположена ближе к ней против движения якоря.

Как известно из теории электрических машин постоянного тока, в последних имеет большое значение для их нормальной работы *чередование основных и дополнительных полюсов*. Проверка чередования производится по схеме рис. 105. Для этого к параллельной обмотке возбуждения и обмотке дополнительных полюсов поочередно с соответствующей рисунку полярностью подключается батарея. В обоих случаях в обмотке якоря образуется противо-ЭДС аналогично тому, как это имело место при определении полярности щеток (см. рис. 104). В первом случае замечают направление отклонения стрелки милливольтметра, подключенного под дополнительным полюсом к коллектору (при этом необходимо иметь в виду, что из конструктивных соображений стержень обмотки якоря, находящийся под основным полюсом, соединяется с пластиной коллектора, находящейся под дополнительным полюсом). Во втором случае замечают отклонение стрелки милливольтметра, смещенного одноименными концами по коллектору под ближайший против движения якоря основной полюс. Если отклонение стрелки милливольтметра в обоих случаях одинаково, то однополярными зажимами для данного направления вращения считаются те, к которым подключался один и тот же зажим батареи.

У электродвигателей постоянного тока согласование обмоток проверяют опробованием и наблюдением при этом за искрением. При необходимости производят проверку, аналогичную описанной выше, имея в виду, что полярность дополнительных полюсов у электродвигателей должна быть такой, как и у предыдущего по направ-

лению вращения якоря основного полюса, что следует из физической картины искажения поля в машине из-за реакции якоря.

Определение последовательности фаз генератора вытекает из принципа образования ЭДС в генераторе. Проверка производится после установки статора генератора на фундамент при снятых торцевых щитах путем прослеживания мест входа в паз начал всех обмоток фаз статора со стороны выводов (учитывая ответственность определения чередования фаз, проверку прослеживанием дублируют в дальнейшем другими проверками, производимыми при комплексных испытаниях, см. ниже). По последовательности чередования этих мест вдоль окружности расточки статора в направлении вращения ротора определяется чередование фаз. При установлении последовательности фаза 1, фаза 2, фаза 3 чередование фаз будет 1—2—3. В соответствии с установленным чередованием фаз монтажному персоналу задается в процессе наладочных работ раскраска ошиновки по фазам и схема подключения монтируемого генератора к шинам действующего распределительного устройства, обеспечивающая совпадение чередования фаз генератора и системы, к которой он подключается, что строго необходимо для возможной параллельной работы включаемого генератора с другими генераторами системы. Во избежание ошибки направление вращения ротора для определения чередования фаз задается лицом, ответственным за монтаж турбины, проверяется по расположению лопаток дисков турбины и подтверждается ответственным лицом из эксплуатационного персонала.

Выводы обмоток статора всех электрических машин переменного тока, в том числе и генераторов, маркируются заводом следующим образом: *C1*, *C2*, *C3* — начала обмоток; *C4*, *C5*, *C6* — концы обмоток. Конец *C4* соответствует обмотке с началом *C1*, конец обмотки *C5* — началу *C2*, конец обмотки *C6* — началу *C3*. Чередование и расцветка фаз в различных энергосистемах различны. Например, в сетях 500—750 кВ ЕЭС СССР Ж — З — К, в системе Мосэнерго К — З — Ж, а в системе Ярэнерго З — К — Ж. Такое сложившееся положение обязывает персонал наладочных организаций и эксплуатационный относиться с особой ответственностью к определению чередования фаз вновь вводимых в эксплуатацию синхронных генераторов и компенсаторов и последующей про-

верке чередования перед включением их на параллельную работу.

Службой режимов Мосэнерго разработаны специальные указания по фазировке. Базовыми приняты чередование и расцветка фаз сетей 500—750 кВ ЕЭС СССР, т.е. $A-B-C$, $\text{Ж}-З-К$, $1-2-3$, чему соответствует векторная диаграмма на рис. 106. В табл. 2 приведены раскраска и соединение энергоузлов энергосистем для возможной их параллельной работы в центральной части СССР.

На рис. 107 и 108 даны схемы соединения РУ электростанций и подстанций, а также генератора 300 МВт в соответствии с принятыми базовыми условиями в системах с прямым ($\text{Ж}-З-К$) и обратным ($К-З-Ж$) чередованием фаз, в скобках на рисунке указаны возможные циклические перестановки при подключении выводов генератора к ошиновке РУ.

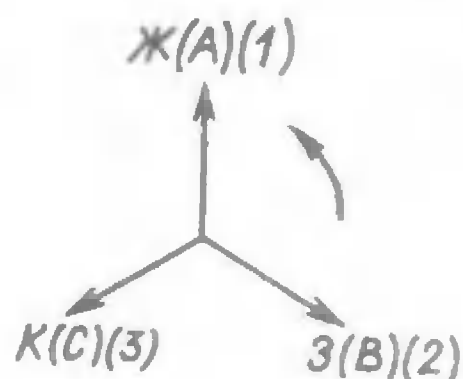


Рис. 106. Векторное изображение систем напряжения, принятых за базовые

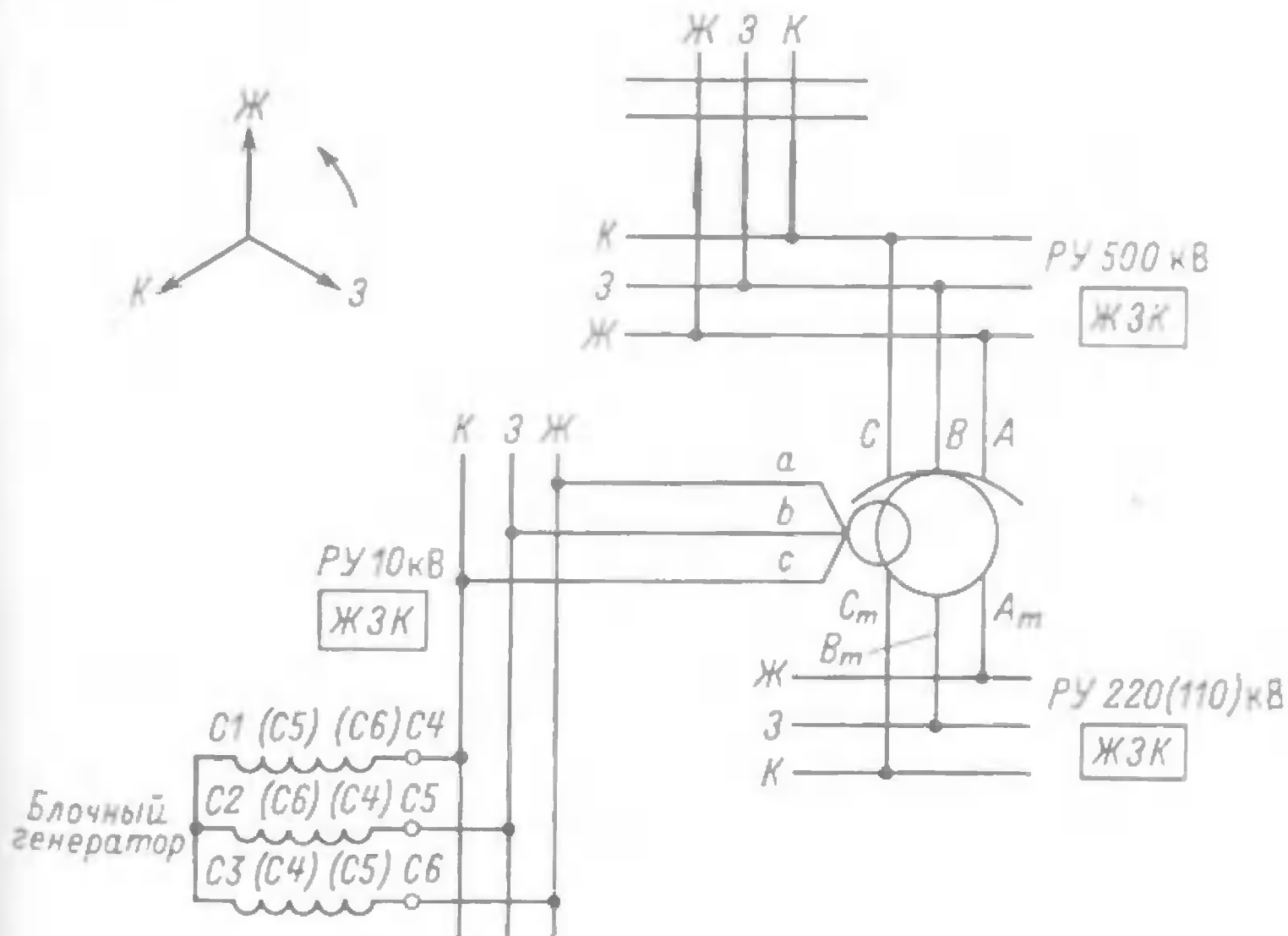


Рис. 107. Схема согласования фаз РУ электростанций и подстанций Мосэнерго, обеспечивающая условия их параллельной работы

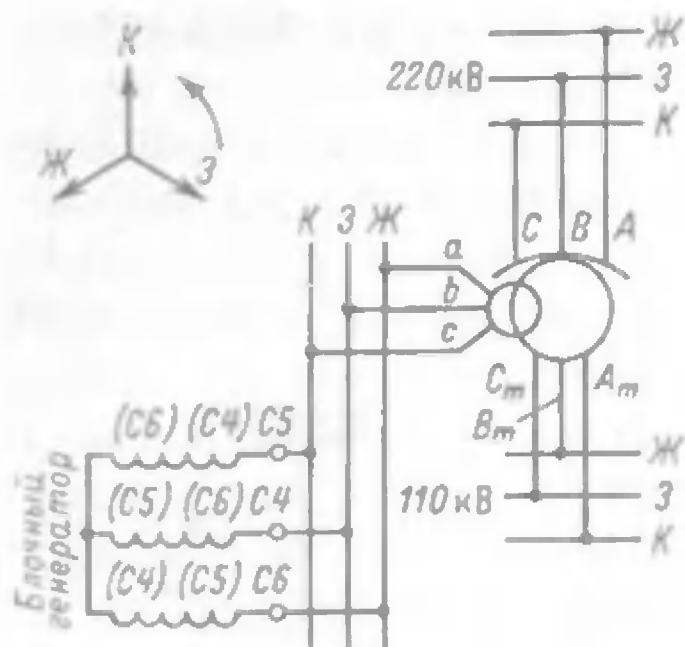


Рис. 108. Схема согласования фаз подстанций Мосэнерго и электроустановок московских ТЭЦ, обеспечивающая условия их параллельной работы

Для обеспечения нормальной циркуляции масла в подшипниках синхронных компенсаторов необходимо у последних проверять направление вращения ротора.

Проверка производится аналогично определению чередования фаз генератора. Прослеживается в процессе монтажа расположение входов в пазы начал всех трех фаз обмотки статора вдоль окружности расточки его, и выполняется такое подключение ошиновки со стороны сети к статору, чтобы чередование фаз его обеспечивало необходимое вращение ротора.

Таблица 2. Раскраска и соединение фаз при параллельной работе узлов энергосистем Центра

Показатель	Сеть 500 кВ ЕЭС СССР	Мосэнерго	Некоторые энергосистемы Центра европейской части СССР
Система напряжений	Ж—З—К	К—З—Ж	З—К—Ж
Раскраска и чередование фаз (расположение векторов указано в момент синхронизации)			
Соединения при параллельной работе узлов электрических систем			

Оценка состояния изоляции ступей подшипников и маслопроводов, стяжных болтов и термоиндикаторов синхронных генераторов

Во избежание возникновения «подшипниковых» токов в контуре вал ротора генератора — подшипники — фундаментные плиты — вал ротора, которые приводят к местным перегревам и разъеданию подшипников, подшипник со стороны возбудителя изолируется от фундамента. В этом случае токи могут проходить обходными путями через металлические трубы маслопроводов подшипников, поэтому в дополнение к изоляции стула подшипника изолируются также фланцы и болты маслопроводов и подшипников с помощью изоляционных дисков, трубок и шайб.

Изоляция подшипников и маслопроводов проверяется при монтаже генераторов до укладки вала ротора в подшипники мегаомметром 1—2,5 кВ. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм. Для удобства проверки изоляции маслопроводов между изоляционными прокладками фланцев трубопроводов закладываются металлические шайбы.

Если до установки вала изоляция стула не проверялась и если между слоями ее не проложена, как между фланцами маслопровода, металлическая прокладка (обычно фольга), то для измерения ее сопротивления один конец вала должен быть приподнят краном, чтобы исключить обходной путь тока измерения через вал ротора, другие подшипники и фундаментную плиту генератора.

Стяжные болты в современных генераторах вынесены за пределы магнитного поля статора и поэтому не требуют изоляции, но если в некоторых случаях они проходят через сталь статора, то их изоляция проверяется мегаомметром 1 кВ и испытывается напряжением 1 кВ переменного тока промышленной частоты в течение 1 мин до полной сборки машины. Нормами значение сопротивления стяжных болтов не регламентируется, но при удовлетворительном состоянии оно составляет не менее нескольких мегаом.

Изоляция термоиндикаторов, закладываемых в различных точках генератора, не подвергается проверке, но провода, соединяющие их с клеммами рядом зажимов,

проверяются мегаомметрами 250 В, сопротивление их изоляции должно составлять не менее 0,5 МОм.

У самих термонидикаторов измеряется сопротивление их постоянному току, и результат измерения сравнивается с заводскими данными.

Установка щеток машин постоянного тока на нейтраль, проверка пускорегулирующих резисторов

Щетки машин постоянного тока, имеющих, как правило, дополнительные полюсы, устанавливаются по условиям нормальной безыскровой коммутации строго по геометрической нейтрали. Проверка правильности их установки производится индуктивным методом с помощью милливольтметра и аккумуляторной батареи. Для проверки милливольтметр подключается к щеткам, а аккумуляторная батарея — к параллельной обмотке через рубильник. Ослабляя крепящие винты щеточной траверсы и перемещая ее при кратковременных включениях батареи, находят такое положение, при котором отклонения стрелки милливольтметра минимальны. Проверка повторяется несколько раз при разных положениях якоря во избежание случайного результата из-за возможного несимметричного расположения обмотки якоря по отношению к щеткам. После закрепления траверсы в установленном положении производится контрольная проверка.

У пускорегулирующих сопротивлений машин постоянного тока проверяется комплектность поставки по номинальному току, который должен соответствовать у возбuditелей максимальному току возбуждения генераторов, а у электродвигателей — максимальному току нагрузки.

У реостатов возбуждения проверяется, чтобы их сопротивление постоянному току было больше сопротивления обмотки возбуждения возбuditеля в 15—20 раз. У реостатов электродвигателей их сопротивление постоянному току должно соответствовать максимальному пусковому току и обеспечивать возможность регулирования частоты вращения в необходимых пределах. Проверяется также общее механическое состояние, качество контактных соединений и состояние изоляции. Сопротивление изоляции измеряется мегаомметром 1000—2500 В. Значение его не регламентируется, но в удовлетвори-

тельном состоянии оно должно быть не менее 5—10 МОм, в противном случае реостат подвергается сушке. При удовлетворительном состоянии изоляции она подвергается испытанию повышенным напряжением промышленной частоты (см. § 2).

Кроме перечисленных проверок у реостатов измеряется сопротивление их постоянному току на всех ступенях с проверкой наличия мелких ступеней в рабочей части реостата, обеспечивающей рабочий режим машины. Измеренное сопротивление реостата в целом не должно отличаться от паспортных данных более чем на 10 %.

Опробование машин постоянного тока и снятие характеристик

Опробование электродвигателей производится подачей напряжения на них. Окончательная оценка состояния электродвигателя дается по нормальному развороту его, отсутствию вибраций, биений, нормальному регулированию частоты вращения в необходимых пределах, отсутствию перегревов, искрений на щетках и т. п. во время опробования.

Генераторы постоянного тока опробуются разворотом их до номинальной частоты вращения первичным двигателем (мотор — генератор) или турбиной (возбудитель генератора). При номинальной частоте вращения проверяется плавность изменения напряжения с помощью реостата возбуждения по щитовым приборам и снимаются характеристики холостого хода и нагрузочная.

Характеристика холостого хода (зависимость ЭДС генератора от тока возбуждения) снимается плавным поднятием тока возбуждения с помощью реостата возбуждения (шунтового реостата) до максимальной ЭДС при полностью выведенном реостате возбуждения и дальнейшим плавным снижением до нуля с измерением установившегося тока возбуждения и напряжения 15—20 ступеней каждой ветви характеристики. При увеличении возбуждения снимается восходящая ветвь характеристики, при уменьшении — нисходящая. При снятии характеристики изменение возбуждения должно осуществляться только в одну сторону во избежание искажения результатов измерений из-за остаточного магнитного потока предшествующего режима.

Измерение напряжения при снятии характеристики производится вольтметром постоянного тока, в случае менее ответственном (мотор-генератор обычного назначения) — щитовым, в случае более ответственном — лабораторным класса точности 0,5 (возбудитель генератора). Ток измеряется соответственно или щитовым амперметром, или с помощью лабораторного шунта, включаемого в цепь обмотки возбуждения на время снятия характеристик, к которому подключается милливольтметр с пределами, указанными на шунте. Шунт подбирается по максимально возможному току возбуждения.

Нагрузочная характеристика снимается так же, как и характеристика холостого хода, но с включенной нагрузкой для оценки нагрузочной способности генератора. Снятие нагрузочной характеристики возбудителя генератора производится одновременно со снятием характеристики холостого хода генератора до максимального значения тока ротора, являющегося нагрузкой возбудителя.

Пример характеристик возбудителя представлен на рис. 109.

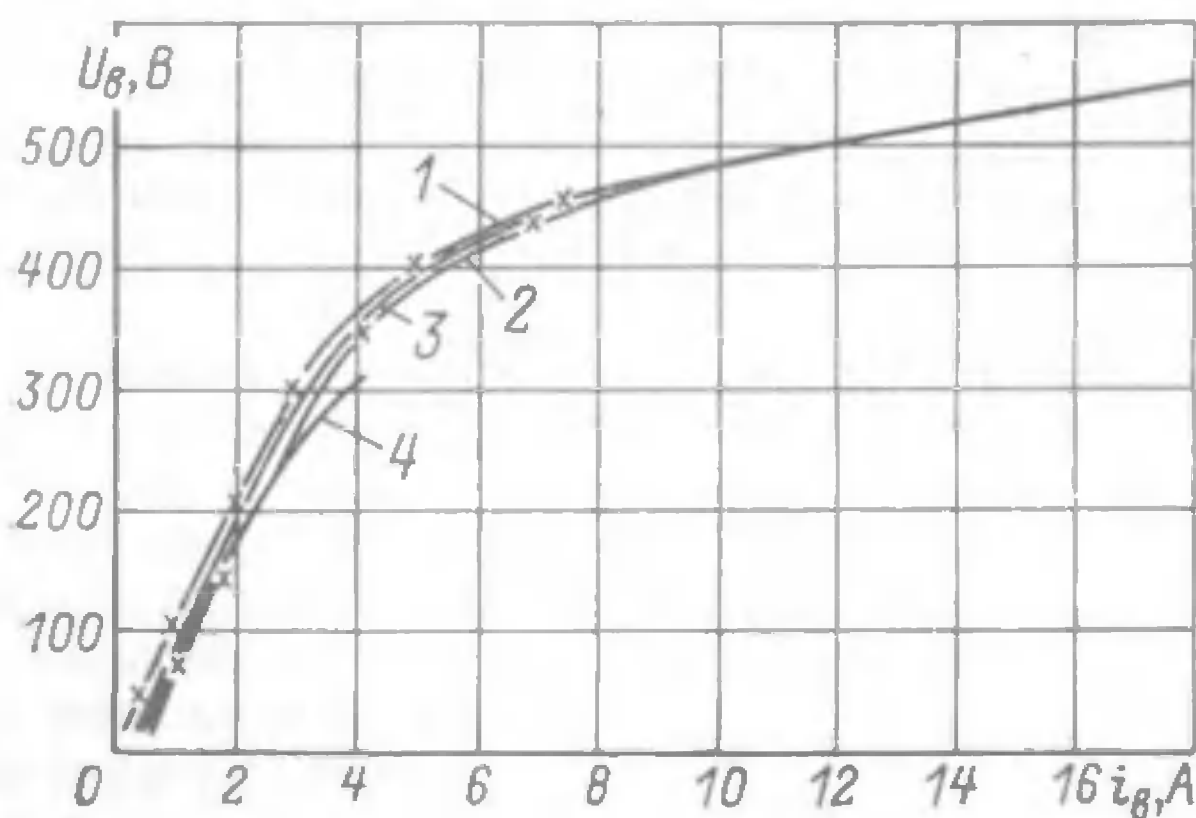


Рис. 109. Характеристики холостого хода и нагрузочная возбудителя синхронного генератора типа ВТ170-3000:

1, 2 — соответственно нисходящая и восходящая ветви; 3 — усредненная характеристика ХХ; 4 — нагрузочная характеристика

Оценка состояния турбогенераторов по результатам комплексных испытаний

После полного окончания всех монтажных и наладочных работ по всему комплексу турбоагрегата проводятся комплексные пусковые испытания, в которые входят:

- 1) проверка системы возбуждения [8];
- 2) снятие характеристик возбуждения;
- 3) проверка релейных защит первичным током КЗ;
- 4) проверка цепей напряжения (совмещается со снятием характеристик ХХ генератора);
- 5) испытание междувитковой изоляции (совмещается со снятием характеристики ХХ генератора);
- 6) испытание автоматического выключателя гашения поля (АГП) и измерение остаточного напряжения [8].

Пусковые испытания проводятся по специальной программе, в которой излагаются содержание испытаний, их последовательность, все операции по подготовке оборудования, необходимые для проведения испытаний наладочным персоналом с участием эксплуатационного персонала. Все оперативные переключения, связанные с подготовкой оборудования, производятся дежурным персоналом станции. Основные испытания генератора проводятся после того, когда полностью закончены все испытания на турбине и она готова к включению генератора в сеть. Но в целях ускорения ввода генератора в эксплуатацию часть работ пускового комплекса производится в процессе опробования турбины и настройки ее регулирующих устройств. К ним относятся контрольная проверка чередования фаз, опробование возбuditеля, находящегося на одном валу с генератором, и системы возбуждения. К ним же относится, но при устойчивых оборотах генератора (частота вращения не имеет значения), проверка устройств релейных защит током короткого замыкания.

В целях максимального сокращения времени пусковых испытаний вся подготовка к испытаниям делается заблаговременно: заранее заготавливаются закоротки, рассчитанные на длительное прохождение номинального тока статора генератора, и устанавливаются в местах, определяемых требованиями снятия характеристик КЗ и проверки релейных защит; заранее должны быть подготовлены и размещены на столах и в местах, удобных для измерений во время испытаний и снятия характери-

стик, измерительные приборы; заранее должны быть подготовлены специальные формы протоколов, в которые заносятся результаты измерений; заранее устанавливается телефонная связь между основными местами производства операций и измерений для согласованных действий дежурного персонала и персонала, занятого на испытаниях (для этого могут быть использованы телефонные трубки и батарейки, которыми производят проверки цепей, подключаемые к резервным жилам контрольных кабелей).

Контрольные амперметры, включаемые для измерений во время испытаний, должны быть класса не ниже 0,5 (включаются во все фазы токовых цепей), вольтметры для измерения напряжения также во всех фазах — не ниже класса 0,5, контрольный шунт с милливольтметром в цепи ротора и приборы постоянного тока, необходимые для контроля системы возбуждения и снятия характеристик возбудителя, — также не ниже 0,5. В числе приборов должен быть предусмотрен осциллограф для записи процесса гашения поля ротора.

При частоте вращения генератора 1500—2000 об/мин уже можно проверить чередование фаз на остаточном напряжении генератора. Как правило, на этом напряжении фазоуказатель, используемый для этой цели, уже вращается.

При тех же, но более или менее устойчивых оборотах в течение 1—2 ч может быть опробована система возбуждения с электромашиным возбудителем и проверено токораспределение в цепях релейных защит. Для этого реостат возбуждения ставится в положение «Ниже», собирается полностью система возбуждения, и проверяется работа возбудителя на холостом ходу. Затем включаются разъединитель и выключатель, за которым предварительно установлена закоротка, автомат гашения поля АГП и постепенным увеличением тока возбуждения в роторе с помощью шунтового реостата устанавливается в обмотках статора ток, достаточный для проверки защит. Если ток возбуждения недостаточен из-за низкой частоты вращения турбины, его можно увеличить подачей в обмотку возбуждения возбудителя тока от постороннего источника или использованием устройства компаундирования из системы регулирования возбуждения.

При устойчивой номинальной частоте вращения тур-

бины снимаются характеристики возбудителя, а затем характеристика установившегося трехфазного КЗ, представляющая собой зависимость тока в обмотке статора I_k от тока ротора I_b . Характеристика КЗ снимается при постепенном увеличении тока в роторе с помощью шунтового реостата ступенями и с одновременной записью установившихся значений токов в статоре и роторе на каждой ступени. Для дальнейшего построения характеристики КЗ достаточно снять четыре-пять точек ее, так как она всегда прямолинейная. Построенная характеристика сравнивается с заводской. Отклонения допускаются только в пределах погрешности измерений. При более значительных отклонениях и тем более, если характеристика не попадает в начало координат (что обязательно должно иметь место, если в роторе отсутствуют дефекты в виде короткозамкнутых витков), характеристика снимается повторно. Если результаты повторяются, об этом ставится в известность руководство станции и производятся специальные испытания по отысканию места повреждения в роторе.

Включение в работу генератора с наличием короткозамкнутых витков в роторе не допускается во избежание увеличения размеров повреждения, что может привести к серьезной аварии генератора.

При удовлетворительных результатах продолжаются испытания по программе. После проверки устройств релейных защит с машины снимается возбуждение полностью, отключается АГП и производится подготовка к подъему напряжения на генераторе — снимается закоротка, отключаются выключатель, соответствующий разъединитель для исключения случайного включения генератора, когда он будет под напряжением, на действующие шины без обязательно требующейся для этого проверки чередования и синхронизации.

Если генератор предназначен для работы в блоке с трансформатором, характеристика КЗ снимается при закоротке, установленной за трансформатором.

Характеристика ХХ, представляющая собой зависимость ЭДС статора от тока возбуждения ротора, снимается при постепенном увеличении (восходящая ветвь), а затем уменьшении (нисходящая ветвь) тока возбуждения ротора с помощью шунтового реостата возбудителя. Так же как и в случае снятия характеристики ХХ возбудителя, при снятии характеристики ХХ генератора из-

менение возбуждения следует производить только в одном направлении; при снятии характеристики контролируется частота вращения турбины, так как ЭДС генератора сильно зависит от последней. Если частота нестабильна, то при построении характеристики ХХ делается пересчет ЭДС на основании показаний тахометра, которые фиксируются во время снятия характеристик наравне с другими показаниями в связи с тем, что между измеряемой ЭДС и частотой вращения имеется прямо пропорциональная зависимость.

Характеристика ХХ снимается до значения $1,3 U_{\text{ном}}$, а для блока генератор—трансформатор — до $1,15 U_{\text{ном}}$, так как для трансформатора заводом установлено ограничение по максимально допустимому напряжению.

По результатам измерений строится характеристика ХХ, которая, так же как и характеристика КЗ, сравнивается с заводской или при эксплуатационных проверках с предыдущей характеристикой.

На рис. 110 представлены характеристики ХХ и КЗ синхронного генератора и показано построение диаграммы Потье, которое делается для определения параметров возбуждения в нормальном режиме в дальнейшем при обработке результатов испытаний генератора.

Построение диаграммы производится в последовательности, показанной на рисунке цифрами в скобках.

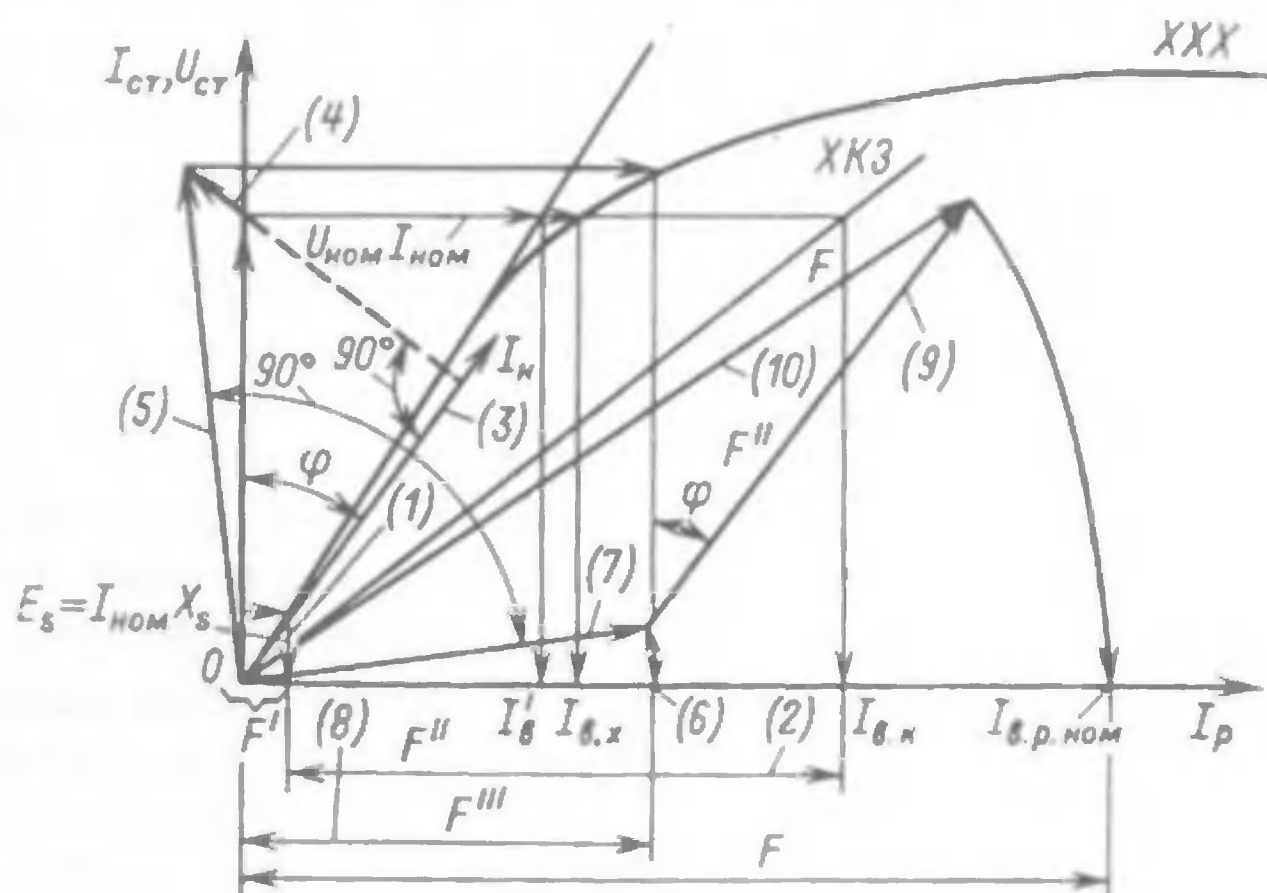


Рис. 110. Характеристики ХХ и КЗ синхронного генератора и построение диаграммы Потье:

F' — МДС рассеяния статора; F'' — МДС якоря; F''' — МДС потока в воздушном зазоре; F — полная МДС

При построении, если нет данных по x_s , оно может быть принято равным $(0,9—0,95)x_d''$. По диаграмме определяются:

ток возбуждения номинального режима генератора $I_{в.х}, I_{в.ном}$;

реактивные сопротивления $x_{d\text{ ненас}} = I_{в.к}/I_{в}$ и $x_{d\text{ нас}} = I_{в.к}/I_{в.х}$;

отношение короткого замыкания $ОКЗ = 1/x_{d\text{ нас}}$.

В процессе снятия характеристики ХХ при 50 % $U_{ном}$ производят осмотр и прослушивание генератора и всего оборудования, связанного с его работой. При достижении $U_{ном}$ осмотр продолжается. Одновременно со снятием характеристики ХХ производится испытание междувитковой изоляции обмоток статора при напряжениях, указанных выше, в течение 5 мин, при этом генератор повторно прослушивается.

За искомую характеристику ХХ принимается средняя между восходящей и нисходящей, и она и сравнивается с заводской или предыдущей.

При снятии характеристики ХХ проверяется одновременно симметрия напряжения по фазам. Оно должно быть симметричным. Кроме того, проверяется наличие напряжения, чередование фаз и синфазность во всех цепях напряжения вторичных устройств, а также форсировка возбуждения.

Пусковые испытания генераторов с тиристорным или высокочастотным возбудителем проводятся, как правило, от резервного возбудителя, так как они могут быть закончены наладкой только на уже работающем генераторе.

Способы построения характеристик КЗ и ХХ для генераторов, работающих в блоке с трансформаторами и не имеющих выключателя между генератором и трансформатором, по результатам снятия характеристики КЗ при закортке за трансформатором и ХХ при работе генератора на трансформатор, а также способы проверки релейных защит на неподвижном генераторе от постороннего источника подробно описаны в [9].

Проверка чередования фаз, синхронизация генераторов и включение их в работу

Проверка чередования фаз производится перед синхронизацией, чтобы окончательно убедиться в одинако-

вом чередовании фаз генератора и сети, к которой он подключается. Проверка производится с помощью фазоуказателя, подключаемого к трансформатору напряжения одной из выделенных для проверки систем сборных шин. На последнюю подается сначала напряжение от сети, фиксируется по фазоуказателю направление его вращения; затем, соблюдая последовательность оперативных переключений, предусмотренных программой пусковых испытаний, подается на эти же шины через тот же трансформатор, что и в первом случае, напряжение от испытуемого генератора, и тоже фиксируется направление вращения фазоуказателя. Если в обоих случаях направление вращения диска фазоуказателя одинаково, то чередование фаз сети и испытуемого генератора тоже одинаково. В противном случае выясняется причина несоответствия чередования фаз и принимаются меры по их устранению, после чего проверка повторяется. Проверка чередования фаз обычно совмещается с проверкой схемы синхронизации, поэтому фазоуказатель подключается к колонке синхронизации, и не отсоединяется до полного окончания проверок.

Проверка схемы синхронизации заключается в проверке соблюдения основных условий синхронизации генераторов: обязательное равенство напряжений синхронизируемого генератора и сети, к которой он подключается; обязательное совпадение фаз напряжений генератора и сети; обязательное равенство частот в пределах $\pm 0,1\%$ (2—3 оборота стрелки синхроскопа в 1 мин).

Проверка производится на синхронном и несинхронном напряжении.

Проверка на синхронном напряжении. Для этого освобождается одна из двух систем шин генераторного напряжения (например, А2 на рис. 111), как это делается при проверке чередования фаз. При отключенном выключателе Q2 генератор включается на выделенную систему через разъединители QS, QS2 и выключатель Q1. При возбуждении генератора G и включении SACS—G на колонку поступает синхронное напряжение от генератора через трансформаторы напряжения TV—G, TVII и вспомогательные контакты разъединителей QSII, QS2 и QS3. В этом случае вольтметры колонки должны показывать одинаковое напряжение, соответствующее установленному возбуждению генератора, частотомеры — одинаковую частоту, соответствующую частоте враще-

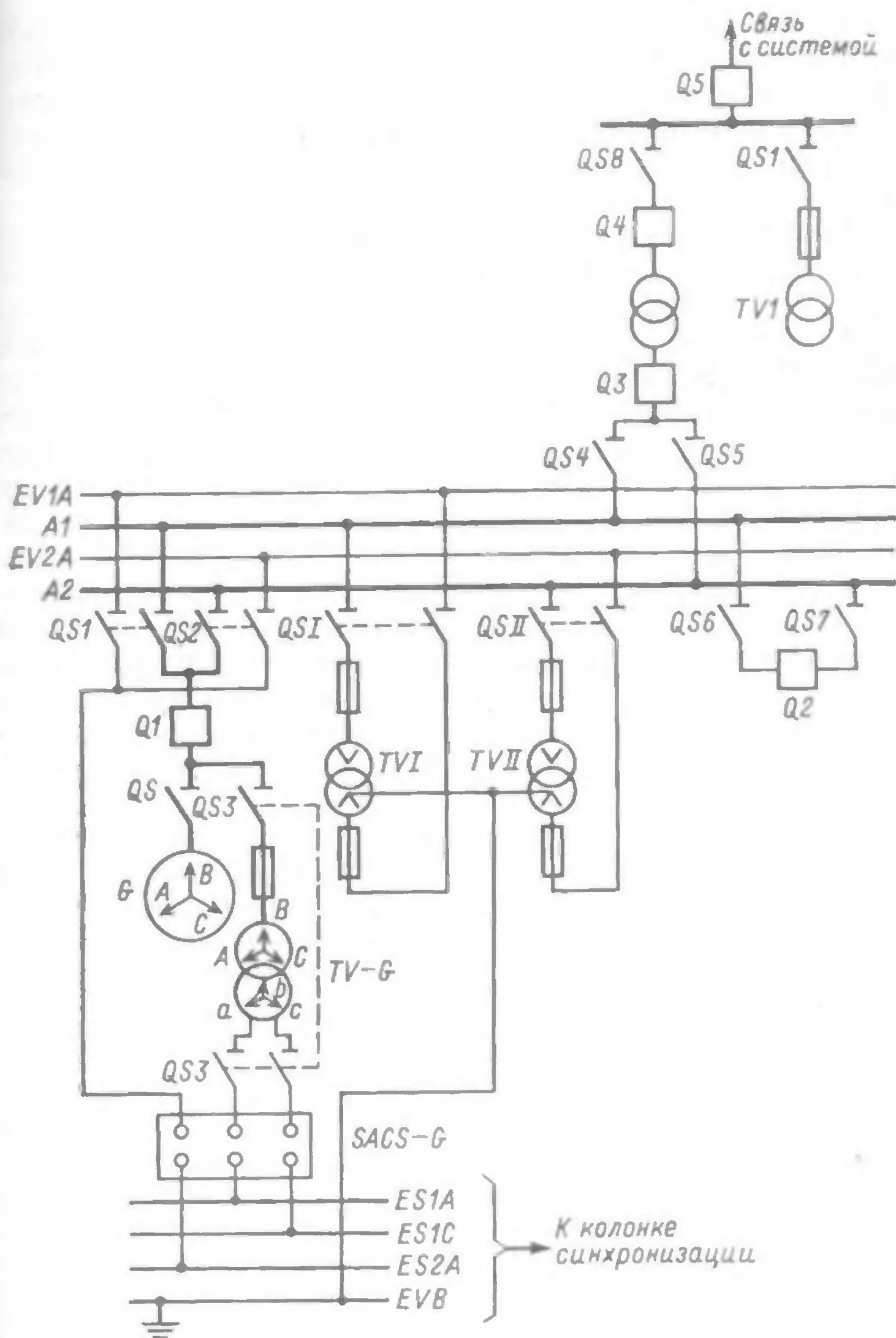


Рис. 111. Главная схема генератора и ее цепи синхронизации

ния генератора, а стрелка синхроскопа должна устанавливаться на черте «синхронно».

Проверка на синхронное напряжение убеждает, что если при подаче на колонку напряжений от системы и

синхронизируемого генератора стрелка синхроскопа устанавливается на черту (нуль), то условие совпадения фаз, необходимое для возможности синхронизации, удовлетворяется и при соблюдении остальных условий возможно включение генератора на параллельную работу.

Проверка на несинхронном напряжении. Для этого при отключенном выключателем $Q1$ подается на колонку напряжение $A2$ включением выключателя $Q2$ и от возбужденного генератора через разъединители QS , $QSII$, $QS2$, $QS3$, а также вспомогательные контакты разъединителей $QSII$, $QS2$, $QS3$. Изменяя возбуждение генератора, убеждаются в соответствии вольтметров и частотомеров системе и синхронизируемому генератору, изменяя частоту вращения турбины, убеждаются в правильности действия синхроскопа и подключения к нему цепей напряжения. При частоте вращения генератора, отличной от синхронной, стрелка синхроскопа должна вращаться в направлении, соответствующем обозначенному на шкале ускорению или замедлению генератора, с частотой, зависящей от того, насколько отличается частота (вращения) генератора от частоты системы.

Возможны различные варианты включения генератора на параллельную работу с помощью тех или иных выключателей схемы станции, но во всех случаях обязательна вышеописанная проверка, которая может отличаться только оперативными переключениями в зависимости от особенностей главной схемы и цепей синхронизации, пример которых показан на рис. 112.

После проверки всех условий генератор может включаться в сеть методом точной синхронизации. Для этого восстанавливается полностью «штатная» схема по первичным и вторичным цепям, удаляются закоротки, приборы, используемые только при испытаниях, и оперативный персонал готовит схему для включения генератора в сеть. Синхронизация заключается в установке с помощью реостата возбуждения напряжения на синхронизируемом генераторе, которое должно быть чуть больше напряжения сети, во избежание его снижения в связи с включением в сеть генератора; в установке с помощью регулятора скорости турбины частоты вращения ее чуть выше частоты сети, чтобы сразу после включения генератора в сеть принять на себя активную нагрузку: во

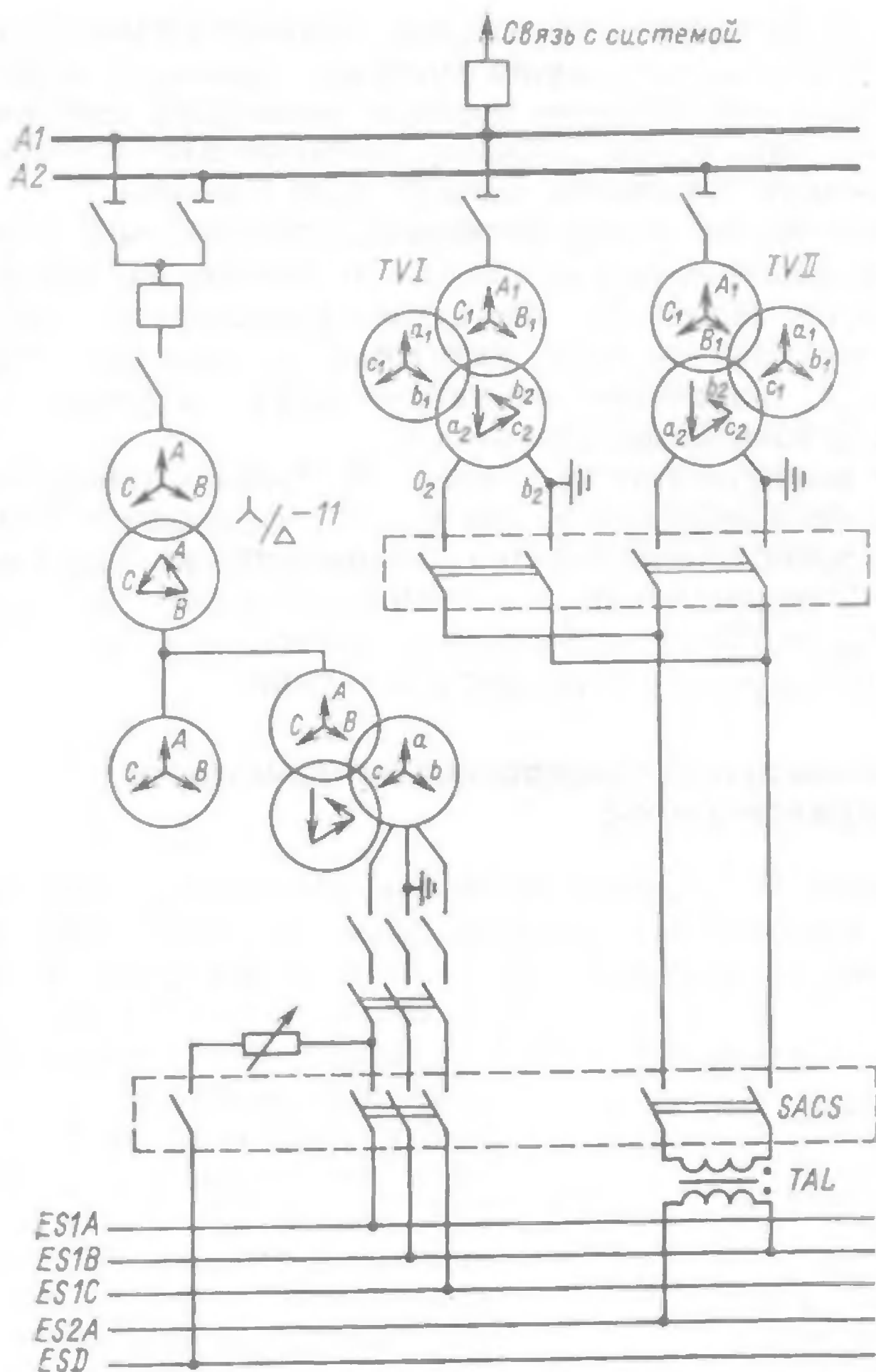


Рис. 112. Главная схема и цепи синхронизации генератора 300 МВт

включении генератора, выделенного для синхронизации, в момент, когда стрелка синхроскопа будет медленно подходить к нулевому значению шкалы, особо обозначенному на ней, но немного опережая момент совпадения с «нулем», подачей импульса на включение с помощью ключа управления, выделенного для синхронизации выключателя.

Генератор включается подачей импульса на выключа-

тель с некоторым опережением момента подхода стрелки синхроскопа к нулю (равным времени действия привода и собственного времени включения выключателя) для того, чтобы избежать всплеска тока в генераторе в момент вхождения в синхронизм с сетью.

Генераторы, предназначенные для работы в блоке с трансформаторами, если ток их включения по предварительно сделанным расчетам не превышает $3,5 I_{ном}$, могут включаться в сеть методом самосинхронизации, но первое их включение тем не менее обычно производится методом точной синхронизации.

По методу самосинхронизации генератор включается в сеть без возбуждения при частоте вращения, близкой к синхронной (допускается расхождение не более $\pm 2—5\%$). Одновременно с включением выключателя на генератор подается возбуждение включением АГП, и тогда генератор плавно входит в синхронизм.

Особенности пуска синхронных компенсаторов и электродвигателей

Наиболее общепринятым способом пуска синхронных компенсаторов в настоящее время является пуск асинхронный через реактор (рис. 113). Суть его заключается в том, что при пуске на него подается напряжение через реактор, ограничивающий пусковой ток. Напряжение

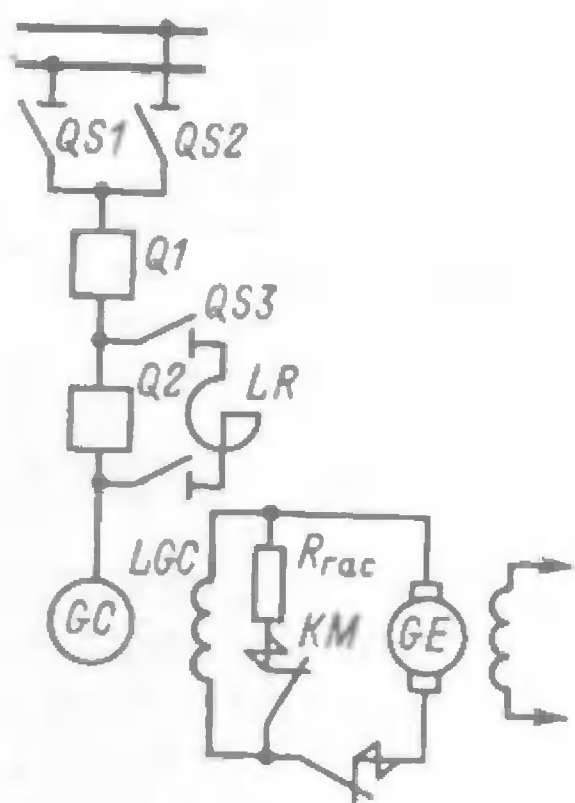


Рис. 113. Схема пуска синхронных компенсаторов и электродвигателей с реактором

подается выключателем Q1. После разворота компенсатора и достижения им скольжения, при котором уже может произойти втягивание его в синхронизм, реактор шунтируется выключателем Q2.

Пуск осуществляется обычно автоматическим, но может и ручным способом. В последнем случае перед включением компенсатора должны быть обеспечены циркуляция масла в маслосистеме, циркуляция воды в газоохладителях, а также возбуждение в роторе пуском возбудительного агрегата и установкой его реостата воз-

буждения в положение, при котором в момент включения не потребляется реактивный ток из сети. При автоматическом пуске все это обеспечивается автоматически.

В схемах реакторного пуска с возбудителем, находящимся на одном валу с ротором компенсатора, включение АГП и тем самым подача возбуждения в ротор компенсатора осуществляются с самого начала операции пуска, чтобы обеспечить быстрое самовозбуждение по мере увеличения частоты вращения ротора и успешное втягивание компенсатора в синхронизм.

Процесс пуска компенсатора при первом его включении осциллографируется, и это является основным испытанием компенсатора при его вводе в эксплуатацию. По результатам осциллографирования (рис. 114) произ-

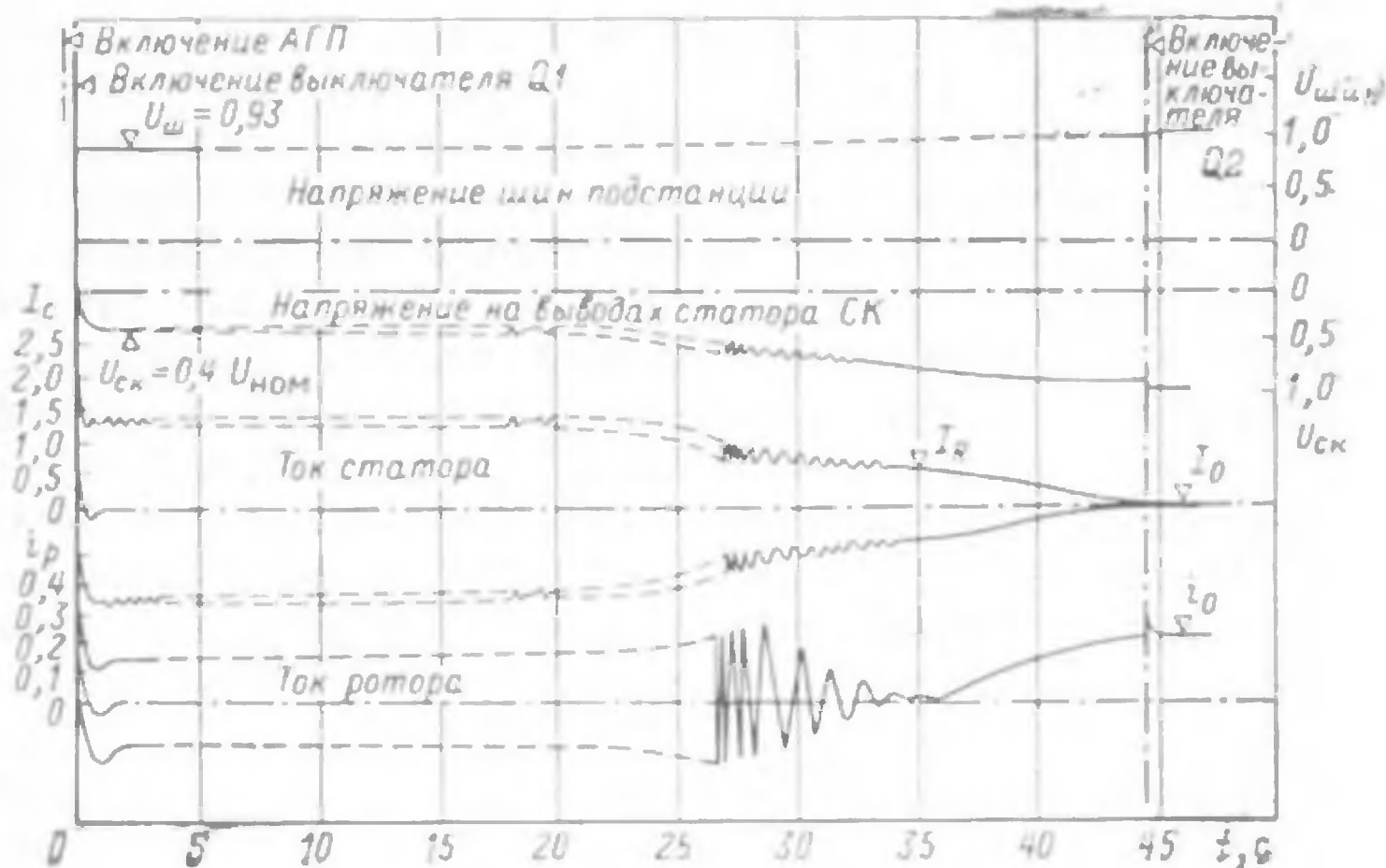


Рис. 114. Осциллограмма реакторного пуска синхронного компенсатора

водится оценка работы отдельных элементов автоматики, поведения компенсатора и возможность нормальной его эксплуатации.

Из представленной на рисунке осциллограммы видно следующее. Пик тока в статоре составляет $2,41 I_{\text{ном}}$, а начальное значение тока в обмотке возбуждения — всего $0,1 I_{\text{ном}}$. Асинхронный режим с характерными пульсациями тока статора, связанными с переменным индуцированным током в обмотке возбуждения, устанавли-

вается через 1—1,5 с после включения. Ротор к этому времени сделал уже около четверти первого оборота, а в обмотках статора и ротора закончился начальный период пуска, сопровождающийся характерными апериодическими составляющими токов в них. Примерно через 19 с частота вращения ротора достигает половины синхронной, что характеризуется временным прекращением пульсации тока статора. Асинхронный режим длится около 28 с. К этому времени заметно снижается ток статора, и в результате этого увеличивается напряжение статора. В этот же период времени начинаются качания ротора, характеризующиеся переходом тока, индуцированного в обмотке ротора, от переменного с быстро увеличивающимся периодом, но с постоянной амплитудой, к переменному с быстро уменьшающейся амплитудой, но постоянной частоты. Через 35 с заканчивается период качаний, что характеризуется затуханием индуцированного тока в обмотке возбуждения и пульсаций тока статора, спадающего до I_R , что соответствует режиму реактивного двигателя при отсутствии возбуждения. По мере увеличения тока возбуждения до i_0 за счет самовозбуждения при увеличивающейся частоте вращения ротора ток I спадает до наименьшего значения I_0 , что подтверждает правильную установку реостата возбуждения в положение пуска и указывает на втягивание ротора в синхронизм. В этот момент включается выключатель Q2. К этому времени напряжения на статоре и на шинах сети почти уравниваются, и потому толчок тока незначителен.

Синхронные электродвигатели опробуются аналогично асинхронным с визуальной оценкой поведения в первый момент пуска и в начальный момент втягивания в синхронизм.

4. СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Оценка общего состояния трансформаторов и проверка состояния изоляции

Проверка и испытания силовых трансформаторов, включая автотрансформаторы, масляные и дугогасящие реакторы, и оценка по их результатам возможности ввода в эксплуатацию производятся после полного окончания их монтажа и заливки маслом. В соответствии с тре-

бованиями Норм и заводских инструкций [5, 6] у трансформаторов прежде всего проверяется герметичность (маслоплотность) и берутся пробы масла для их химического анализа, проверки на электрическую прочность (производится обычно в лабораториях энергосистем).

При удовлетворительных результатах проверки *маслоплотности* оценивается состояние изоляции по методике, изложенной в § 1. Измеряются R_{60} , R_{60}/R_{15} , $\operatorname{tg} \delta$ каждой обмотки по отношению к другим заземленным не ранее чем через 12 ч после полной заливки трансформатора маслом и при температуре $t_{\text{нз}} \geq 10^\circ\text{C}$ для трансформаторов 110—150 кВ, $t_{\text{нз}} \geq 20^\circ\text{C}$ для трансформаторов 220—750 кВ. За $t_{\text{нз}}$ принимается температура верхних слоев масла у трансформаторов, не подвергавшихся прогреву, и средняя температура обмотки ВН фазы В у трансформаторов, подвергавшихся прогреву. В последнем случае температура определяется по сопротивлению обмотки постоянному току (см. § 2) через 60 мин после отключения тока нагрева или через 30 мин после отключения внешнего источника нагрева.

Сопротивление изоляции измеряется мегаомметром 2500 В. Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ измеряется по перевернутой схеме при напряжении 10 кВ (см. § 2).

Если трансформатор подвергается сушке, то при ревизии его состояние увлажненности обмоток оценивается по результатам измерений приборами ЕВ-3, ПКВ-8 отношения $\Delta C/C$ (см. § 1 и 2), которое считается удовлетворительным, если не превышает следующих значений:

$t_{\text{кэм}}, ^\circ\text{C}$	10	20	30	40	50
$\Delta C/C$ (до ревизии), %	8	12	18	29	44
$\Delta C/C$ (после ревизии), %	3	4	5	8,5	13

Отношение $\Delta C/C$ нормативами не регламентируется, но используется как дополнительный критерий оценки.

Оценка состояния изоляции и заключение о необходимости ее сушки делаются на основании комплексного рассмотрения условий транспортировки, хранения, монтажа и всех измерений в соответствии с требованиями заводской инструкции. Для этого измеренные значения R_{60} и $\operatorname{tg} \delta$ приводятся к температуре, указанной в паспорте, с помощью приведенных ниже коэффициентов.

Разность температур	1	2	3	4	5
Коэффициент пересчета K_2 для R_{60} обмоток	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22
Коэффициент пересчета K_1 для $\operatorname{tg} \delta$ обмоток	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15
Коэффициент пересчета K_3 значения $\operatorname{tg} \delta$ масла	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22

Продолжение

Разность температур	10	15	20	25	30
Коэффициент пересчета K_2 для R_{60} обмоток	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4
Коэффициент пересчета K_1 для $\operatorname{tg} \delta$ обмоток	1,31	1,51	1,75	2,0	2,3
Коэффициент пересчета K_3 значения $\operatorname{tg} \delta$ масла	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4

Результаты измерения R_{60} должны быть не менее 70 % заводских результатов, а $\operatorname{tg} \delta$ должен быть не более 130 %. Если измеренное значение $\operatorname{tg} \delta$ составляет 1 % и менее, то сравнение с заводскими данными его не производится.

При удовлетворительных результатах проверки состояния изоляции и наличии испытательной установки достаточной мощности обмотки напряжения до 35 кВ испытываются повышенным напряжением промышленной частоты в течение 1 мин.

Значения испытательного напряжения приведены ниже.

Номинальное напряжение обмотки, кВ	До 3	3	6	10	15	20	24	27	35
Испытательное напряжение, кВ, обмоток с изоляцией:									
нормальной	4,5	10	23	32	41	50	59	63	77
облегченной, в том числе сухих трансформаторов	2,7	9	15	22	28	—	—	—	—

Испытанию подвергается каждая фаза или обмотка в целом (если фазы не разделены) по отношению к корпусу и другим заземленным фазам. Результаты испытаний считаются удовлетворительными, если во время испытания не было пробоя, выявляемого по звукам разрядов в баке и одновременно резких отклонений стрелок измерительных приборов.

При пробое трансформатор вскрывается, сливается масло, и испытание повторяется. По месту появления дыма при испытании определяется, где произошло по-

вреждение. Обнаруженный дефект устраняется ремонтным персоналом станции или завода-изготовителя, после чего испытание повторяется.

Оценка состояния магнитопровода

Состояние магнитопровода трансформатора в соответствии с изложенным в § 1 оценивается по результатам измерения потерь холостого хода, которое производится первым, чтобы измерения с использованием постоянного напряжения ($R_{из}$ и др.) не влияли на резуль-

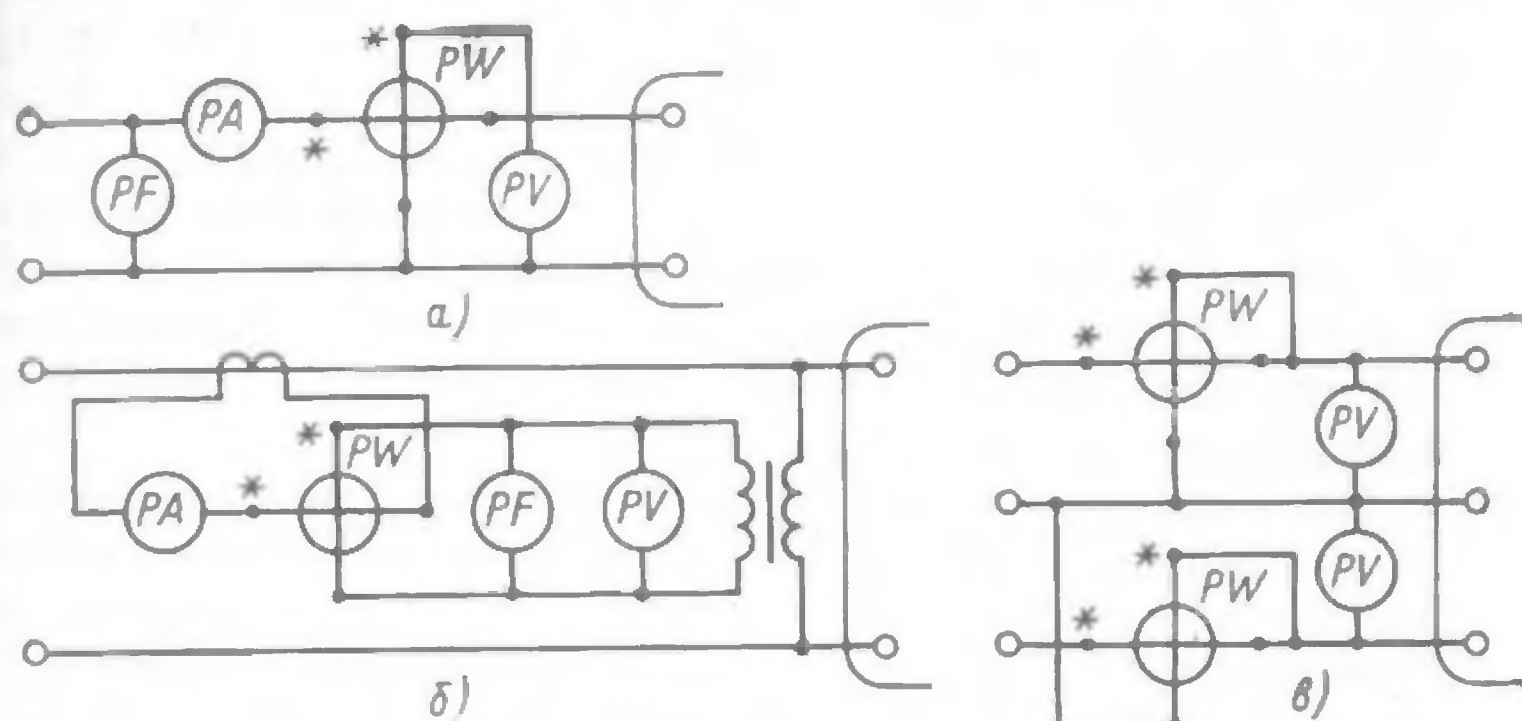


Рис. 115. Схема измерения на малом напряжении потерь холостого хода при однофазном возбуждении трансформатора (а), с использованием измерительных трансформаторов напряжения (б), при трехфазном возбуждении трансформатора (в)

таты из-за остаточного магнетизма, вызываемого ими.

Измерение производится по схеме рис. 115, а и б при пониженном напряжении (220—380 В) с поочередным замыканием накоротко одной из фаз и возбуждением двух других (три опыта). При этом измеряются подводимое напряжение U_n и суммарная мощность $P_{из}$, потребляемая трансформатором и схемой измерения. Отключив схему от выводов обмотки трансформатора, измеряют в дальнейшем собственное потребление схемы и, вычитая второе из первого, определяют потери при напряжении измерения: $P_{тр} = P_{из} - P_{сх}$. Потери при номинальном напряжении определяются приведением результата измерения к номинальному напряжению по

формуле

$$P_{\text{оприв}} = P_0 \left(\frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{п}}} \right)^n,$$

где

$$P_0 = \frac{P_{0ab} + P_{0bc} + P_{0ac}}{2},$$

P_{0ab} , P_{0bc} , P_{0ac} — измеренные потери при опытах (при одном значении напряжения, подводимого к обмоткам); $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение трансформатора (обмотки), кВ; $U_{\text{п}}$ — приложенное напряжение при измерениях, кВ; n — показатель степени, зависящий от сорта стали (принимается равным 1,8 для горячекатаной и 1,9 для холоднокатаной электротехнической стали); P_0 — измеренные суммарные потери в трансформаторе.

У трехфазных трансформаторов потери можно измерять и при трехфазном возбуждении по схеме рис. 115. В этом случае при приведении потерь к номинальному напряжению под P_0 имеют в виду потери, измеренные при трехфазном возбуждении.

Полученные при измерениях результаты сравнивают с заводскими данными. При удовлетворительном состоянии магнитопровода трансформатора отклонения от заводских данных не должны быть более 5 % для трехфазных и 10 % для однофазных трансформаторов. В противном случае выясняется причина, устраняется дефект и измерение повторяется. Для исключения ошибок в оценке измерения производят по схемам, по которым производились измерения на заводе.

Оценка состояния токоведущих частей обмоток

Оценка состояния токоведущих частей трансформатора, в том числе обмоток, производится измерением сопротивления постоянному току методом падения напряжения или мостовым методом в зависимости от того, каким методом производились измерения на заводе, приведенные в заводской документации. Одинаковость методов рекомендуется заводом для удобства сравнения данных измерений на заводе и при проверке трансформатора на месте монтажа его.

Измерения производятся при токе не более 20 % номинального для данной обмотки. Измеряются сопротивления всех обмоток на всех ответвлениях. У трансфор-

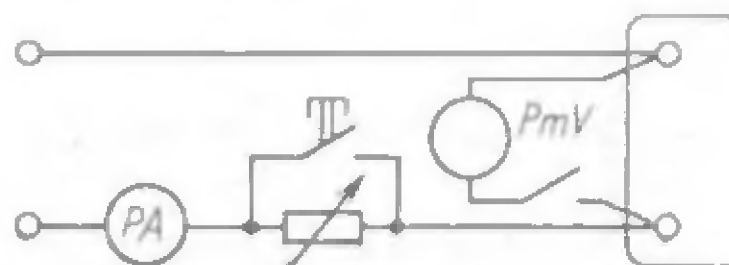
маторов, имеющих в переключающих устройствах предызбиратель, измерения производятся на всех ответвлениях при одном положении предызбирателя и дополнительно на одном ответвлении при другом положении.

В трансформаторах с нулевым выводом измеряются фазовые сопротивления, без нулевого вывода — сопротивления между линейными выводами.

При измерении сопротивления методом падения напряжения, если значения их составляют несколько ом и менее, цепи милливольтметра в схеме измерения присоединяются непосредственно к выводам измеряемой обмотки отдельными проводниками. Милливольтметр включается при установившемся значении тока, а отключается до разрыва цепи тока во избежание его повреждения. Измерение производится при установившемся в течение не менее 1 мин тока. Схемы измерения сопротивлений постоянному току приведены в § 2. Схема измерения методом падения напряжения сопротивления постоянному току обмоток, обладающих большой индуктивностью, какой являются обмотки трансформаторов, приведена на рис. 116. Характерной особенностью дан-

Рис. 116. Схема измерения сопротивления постоянному току обмотки с большой индуктивностью:

РА — амперметр; *РmV* — милливольтметр



ной схемы является наличие в токовой цепи реостата, значительно сокращающего время установления тока.

Соединительные провода в измерительной цепи схемы измерения в целях обеспечения наибольшей точности измерения рекомендуется выбирать меньшей длины и сечением, соответствующим значению тока, устанавливаемого для производства измерения.

Измерение сопротивления обмоток трансформаторов должно быть увязано с условиями определения температуры обмоток, которая принимается равной температуре окружающего воздуха, если трансформатор находится в помещении не менее 10 ч и если температура окружающего воздуха колеблется в пределах не более 3°C , а также принимается равной, если трансформатор не прогревался, температуре верхних слоев масла, измеренной после заливки им не ранее чем через 1 ч. Из-

мерение температуры требуется для возможности сравнения результатов измерений с заводскими, от которых они должны при удовлетворительном состоянии обмоток отличаться не более чем на 2 %.

Приведение сопротивления обмоток к значению, соответствующему температуре заводских измерений, производится по формулам в § 2.

Измерение коэффициента трансформации

Измерение производится по схемам рис. 117 одновременным измерением напряжения с помощью вольтметров класса не ниже 0,5 на всех ответвлениях обмоток всех напряжений.

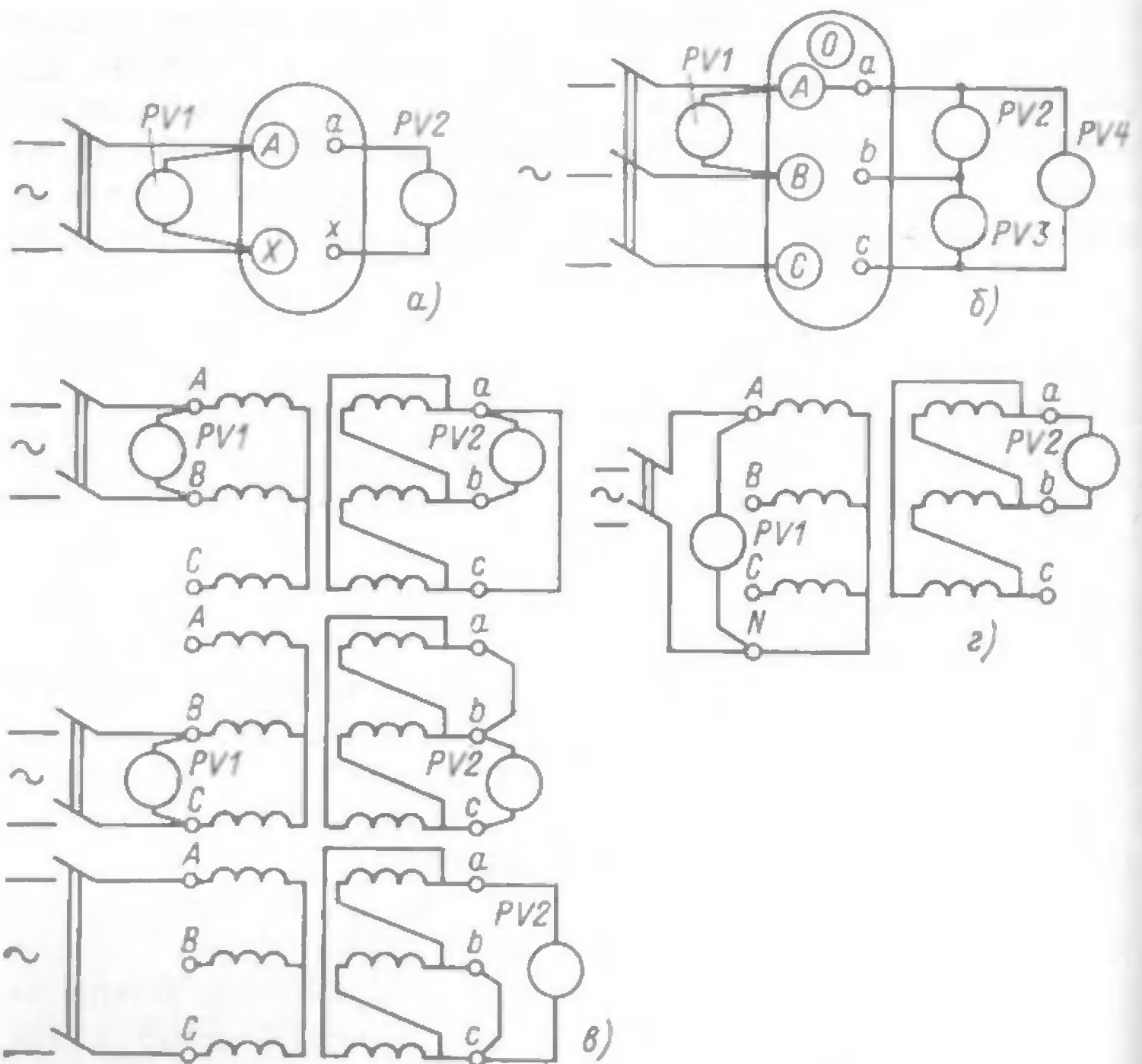


Рис. 117. Измерение коэффициента трансформации силовых трансформаторов:

а — однофазных; б — трехфазных по трехфазной схеме возбуждения; в — трехфазных по однофазной схеме возбуждения; г — трехфазных с нулевым выводом по однофазной схеме возбуждения

При однофазной схеме питания трехфазных трансформаторов с обмотками, соединенными по схеме звезда—треугольник без выведенного нуля, для получения правильного результата фаза, на которой не производится измерение, закорачивается. В противном случае результат искажается из-за того, что, как видно из рисунков, токи при измерении протекают во всех трех обмотках.

Коэффициент трансформации в этом случае определяется между фазными напряжениями по формулам

$$n_{1\phi} = \frac{U_{AB}/2}{U_{ab}}; \quad n_{2\phi} = \frac{U_{BC}/2}{U_{bc}}; \quad n_{3\phi} = \frac{U_{AC}/2}{U_{ac}},$$

где n_{ϕ} — фазный коэффициент трансформации, т. е. отношение фазного напряжения на стороне одного напряжения трансформатора к фазному напряжению на стороне другого напряжения.

От фазного напряжения нетрудно перейти к обычно определяемому линейному:

$$n_L = n_{\phi} \sqrt{3}.$$

Если трансформатор имеет нулевой вывод, благодаря которому возможно возбуждение одной фазы обмотки, то закорачивание обмотки при однофазной схеме питания не требуется. В этом случае коэффициент трансформации определяется по формулам

$$n_{1\phi} = U_{A0}/U_{ab}; \quad n_{2\phi} = U_{B0}/U_{bc}; \quad n_{3\phi} = U_{C0}/U_{ac}.$$

Измеренные коэффициенты не должны отличаться от приведенных в заводских протоколах более чем на 2 %. Тогда состояние проверяемого трансформатора по коэффициентам можно считать удовлетворительным. По общей закономерности изменения сопротивления постоянному току и коэффициентов по ответвлениям дается оценка и состоянию переключателя, в том числе и у трансформаторов с регулировкой под напряжением.

Проверка полярности и групп соединения обмоток силовых трансформаторов

Одной из важнейших проверок у трансформаторов является проверка полярности обмоток и схем их соединения, что при определенном чередовании фаз подаваемого напряжения при включении их в работу определя-

ет группу соединения трехфазных трансформаторов. Из теории известно, что для возможности параллельной работы трансформаторов они должны иметь одну и ту же группу.

Полярность обмоток определяется методом, изложенным в § 3. (Согласно требованиям Норм эта проверка производится в случае отсутствия паспортных или заводских данных при монтаже и после ремонтов со сменой обмоток при эксплуатации.)

Для определения групп трансформаторов и оценки их в плане соответствия заводским данным исходят из следующих основных предпосылок.

1. Выводы обмоток высшего напряжения (ВН) обозначаются прописными буквами A, B, C, X, Y, Z , выводы обмоток низшего напряжения (НН) — a, b, c, x, y, z .

2. У обмоток, имеющих одинаковое направление намотки, все начала (однополярные) при изображении располагаются с одной стороны, а концы — с другой (рис. 118). У обмоток, имеющих разное направление на-

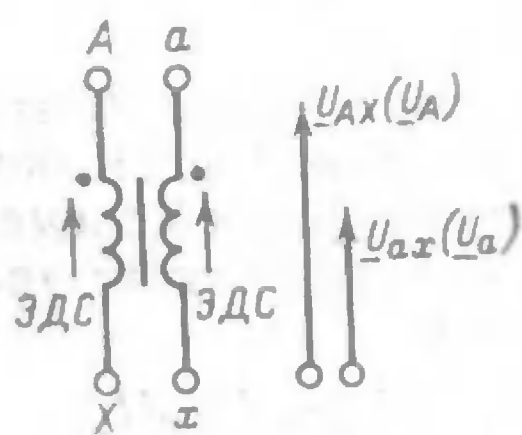


Рис. 118. Изображение однополярных выводов при одинаковом направлении обмоток

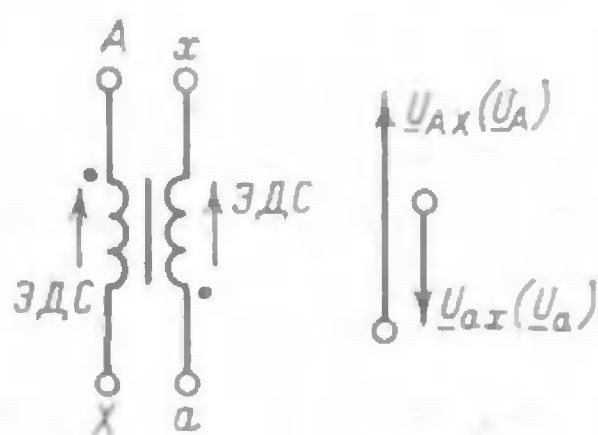


Рис. 119. Изображение однополярных выводов при различных направлениях намотки обмоток

мотки, начала и концы располагаются с разных сторон (рис. 119).

3. Условно считается, что вектор первичного U_{Ax} и вторичного U_{ax} напряжений и соответствующим им ЭДС E_{Ax} имеют одно и то же направление, если считать, что обе обмотки имеют одно и то же направление намотки, при этом положительному направлению обоих векторов соответствует обход обмоток от концов X, x к началам A, a . Если направление намотки у обмоток разное, то положительному направлению вектора ЭДС соответствует обход обмотки высшего напряжения от конца X к на-

чалу A , вектор ЭДС обмотки низшего напряжения изображается противоположным ему на 180° .

4. Начало обмоток и нулевой вывод располагаются на крышках трансформаторов в последовательности $OABC$, o, a, b, c слева направо, если смотреть на них со стороны выводов ВН.

5. Обмотка ВН считается первичной, НН — вторичной.

6. Векторная диаграмма линейных и фазных напряжений первичных считается исходной и во всех случаях неизменной независимо от схемы соединения обмоток трансформатора и подключения его к сети. Чередование фаз сети согласно ГОСТ принимается $A-B-C$ (рис. 120).

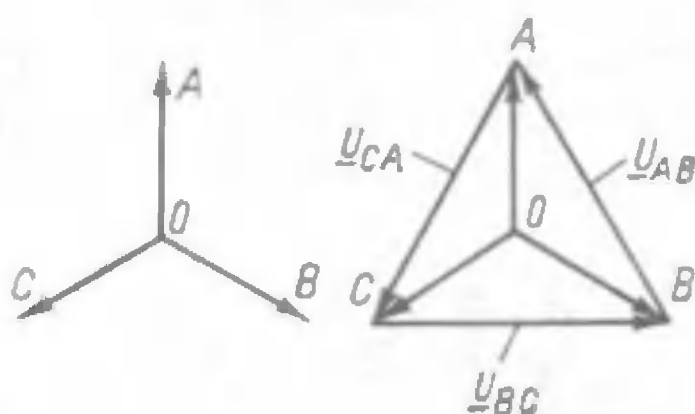


Рис. 120. Векторная диаграмма напряжений

7. У трехфазных трансформаторов обмотки соединяются в основном в звезду (Y) и в треугольник (Д). В зависимости от схемы соединения выводов для образования треугольника и от порядка подключения фаз напряжения сети к выводам возможно получение разных *групп соединения*. Группа соединения определяется сдвигом по фазе линейного или фазного напряжения обмотки НН по отношению к одноименному линейному или фазному напряжению обмотки ВН. В зависимости от всех перечисленных факторов группы соединений трансформаторов могут отличаться друг от друга на $n \cdot 30^\circ$ (n — число в пределах 1—12). В связи с тем что часовые деления циферблата составляют то же число, а угол между каждой парой часовых делений составляет также 30° , принято группы трансформаторов определять по часовой системе, считая вектор напряжения стороны ВН исходным и направленным на цифру 12. Вектор напряжения НН направляется при изображении группы на ту цифру циферблата часов, которая определяет группу. Первая группа означает, что вектор $U_{НН}$ опережает одноименный вектор $U_{ВН}$ на 30° , вторая — что вектор $U_{НН}$ опережает на 60° и т. д.

В СССР выпускаются трансформаторы в основном двух групп — 12 (Y/Y) и 11 (Y/Д), но в зависимости от подсоединения их обмоток к фазам системы (сети)

встречаются также группы 1, 5, 7. Примеры различных групп соединения и соответствующие им векторные диаграммы показаны на рис. 121.

Для определения группы трансформаторов можно пользоваться следующим простым приемом. Например, нужно определить группу трансформатора для случая 6 рис. 121 соединения обмоток. Напряжения (или ЭДС) обмоток ВН и НН стержня фазы *A* (аналогично *B* и *C*) могут или совпадать, или быть противоположными по фазе, так как обмотки располагаются на одном стерж-

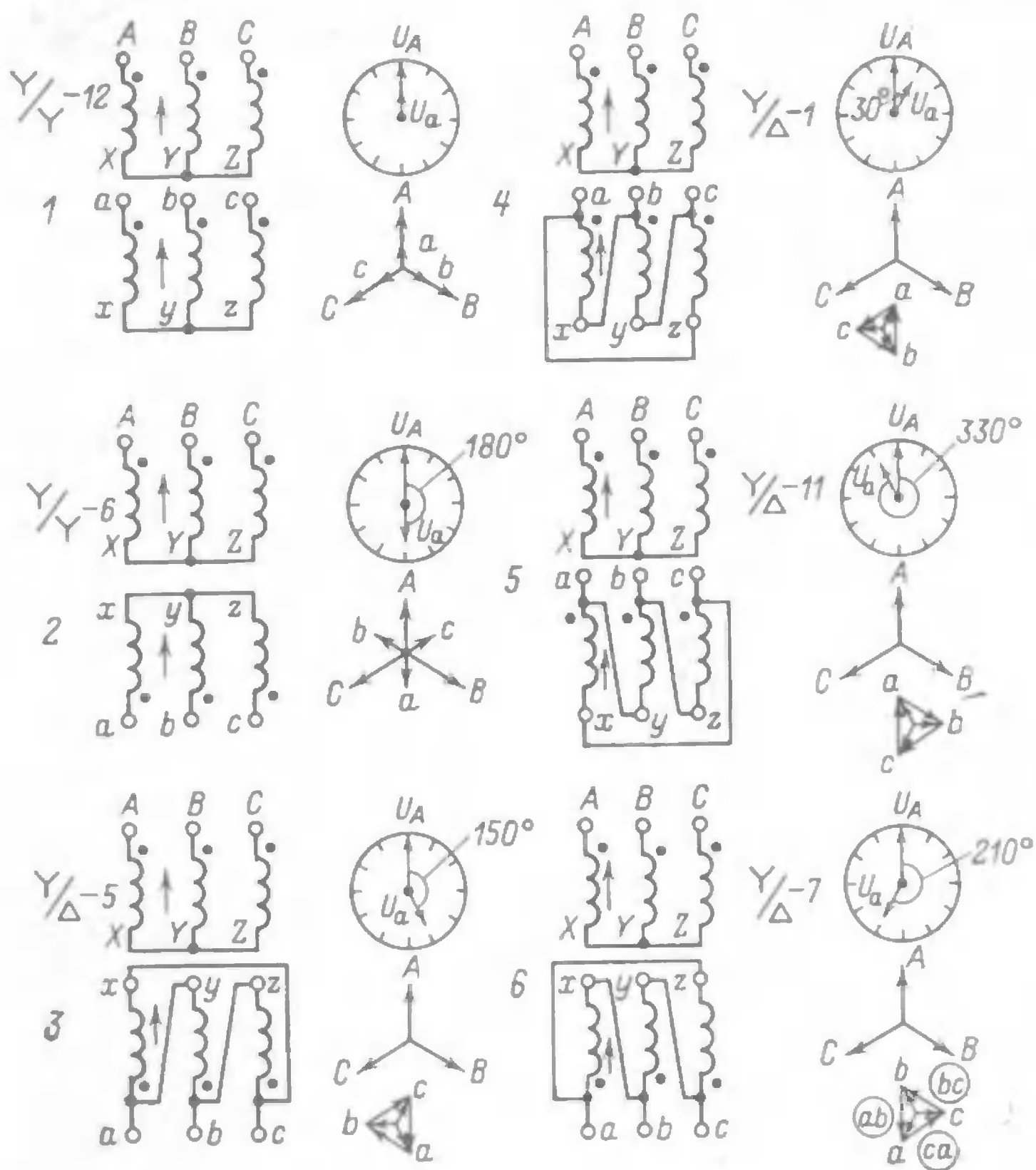


Рис. 121. Примеры схем соединения обмоток силовых трансформаторов. Точками обозначены согласно ГОСТ однополярные выводы. В случаях 1, 4, 5 направление обмоток одинаковое, а в случаях 2, 3, 6 — разное. Стрелками показано направление ЭДС обмоток

не магнитопровода. Определив предварительно полярность поляромером как для однофазных трансформаторов, убеждаемся в том, что для случая 6 одноименные по фазам обмотки имеют противоположное направление намотки. В соответствии с этим на векторной диаграмме строим вектор ab , противоположный по фазе вектору A , вектор bc — вектору B и вектор ca — вектору C на том основании, что со стороны треугольника линейные напряжения будут соответствовать по фазе фазному на стороне звезды.

Изобразив эти векторы, обозначают вершины треугольника, которые они составляют. Эти вершины должны именоваться общими буквами, участвующими в наименовании двух соседних векторов (вершина сторон, образованных векторами ab и bc , должна называться b и т. д.). Построив в треугольнике звезду фазных напряжений, нетрудно определить фазный вектор напряжения стороны НН и сравнить его с одноименным на циферблате часов. Угол между U_A и U_a в разбираемом случае составляет 210° . Значит, группа при данном соединении обмоток, данной полярности обмоток и наименовании фаз будет седьмая.

Аналогично можно рассуждать, но только в обратном направлении, если необходимо соединить обмотки так, чтобы получить необходимую (заданную) группу.

Группу трансформатора можно изменять, не делая никаких изменений в схеме соединения самих обмоток, только за счет циклической перестановки фаз напряжения со стороны ВН или НН. Очевидно, что если вместо фазы B на высокую сторону подсоединить фазу A , вместо C — фазу B , а вместо A — фазу C , то группа изменится с седьмой на одиннадцатую. Аналогично группа изменится на третью, если еще раз произвести циклическую перестановку фаз, т. е. на фазу C подсоединить фазу A , на фазу A — фазу B и на фазу B — фазу C .

Непосредственная проверка группы соединения обмоток трехфазного трансформатора производится с помощью гальванометра (методом поляромера), фазометра или специального векторметра.

С помощью гальванометра группа определяется следующим образом. На выводы A и B обмотки ВН подключается аккумуляторная батарея напряжением 6 В через рубильник (рис. 122). К выводам ab , bc , ca пооче-

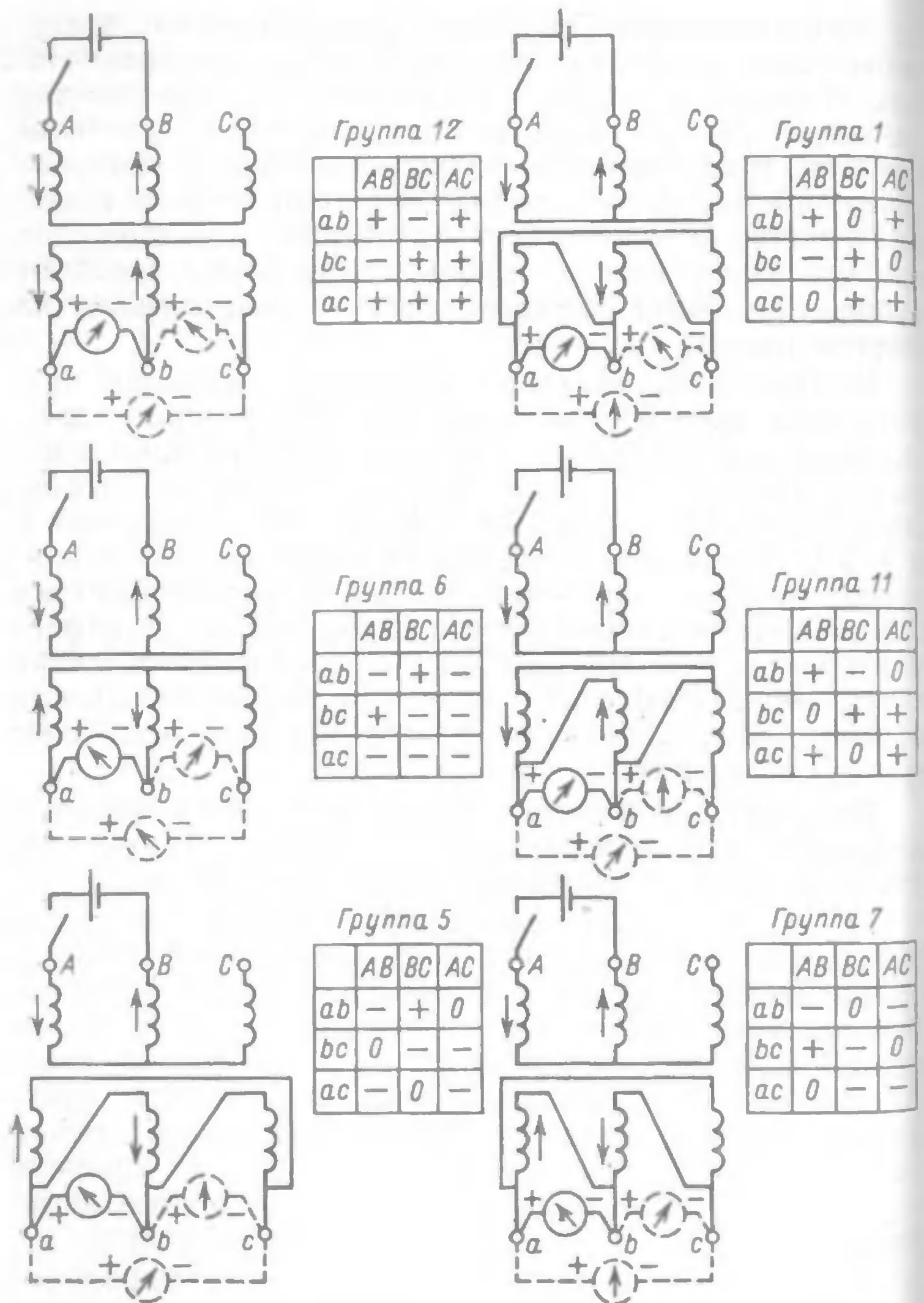


Рис. 122. Проверка группы соединения трансформаторов с помощью гальванометра (методом поляромера)

редно подключается гальванометр с нулем посередине или магнитоэлектрический милливольтметр с полярностью, указанной на рисунке. При подключении гальванометра определяется знак отклонения его в момент за-

мыкания рубильника. Опыт повторяется при подаче питания на выводы *BC* и *AC*. В зависимости от сочетания всех полученных знаков отклонения, записываемых в таблицу, и сравнением их с приведенными в таблицах для определения групп трансформаторов устанавливается проверяемая группа.

Метод поляромера прост и удобен, но требует тщательности определения отклонений, так как в некоторых случаях, когда гальванометр слишком чувствителен, нулевое отклонение фиксируется нечетко. В этих случаях следует снизить напряжение батареи или выбрать более грубый гальванометр.

Фазометром или универсальным фазоуказателем типа Э-500/2 можно измерить непосредственно угол между вектором напряжения НН и ВН, подсоединяемых по схемам рис. 123 и 124. По измеренному углу и по рис. 121 определяется группа.

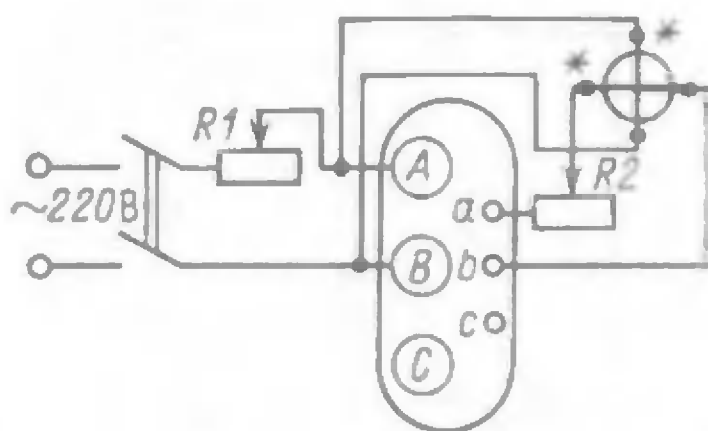


Рис. 123. Проверка группы соединений обмоток силовых трансформаторов с помощью фазометра

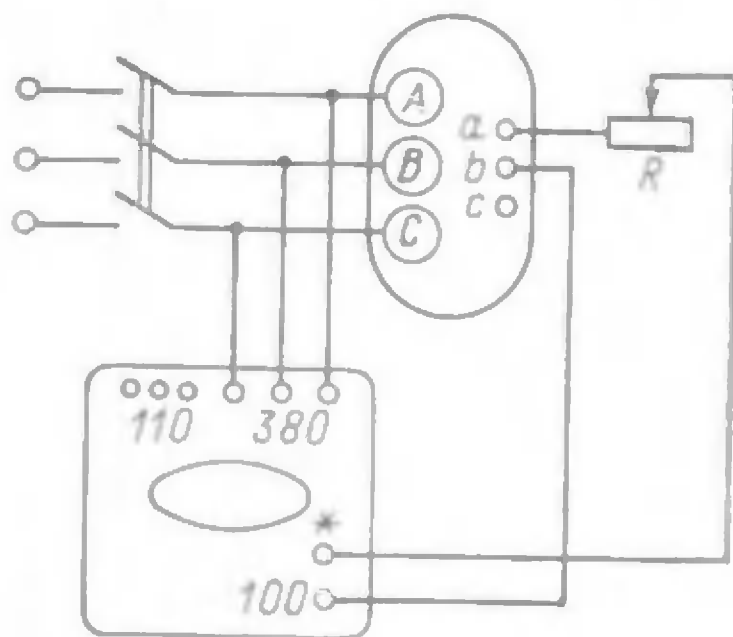


Рис. 124. Проверка группы соединения обмоток силовых трансформаторов с помощью фазоуказателя

Проверка переключающих устройств

Методика проверки переключающих устройств определяется принципом их действия, по которому переключающие устройства подразделяются на два основных вида — требующие для переключения снятия с трансформатора напряжения и не требующие. К первым относятся переключатели типа ПБВ (рис. 125), ко вторым — РНТ, РНОА и др. (рис. 126 и 127).

Простота конструкции переключателей типа ПБВ определяет и простоту его проверки для оценки состояния:

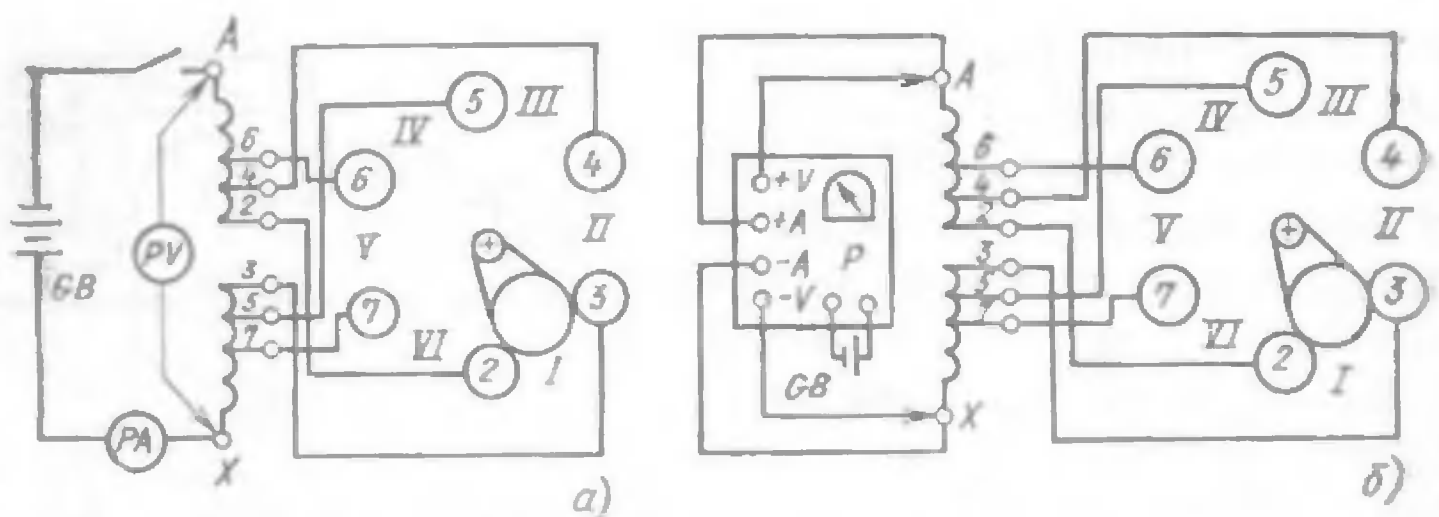


Рис. 125. Электрическая схема переключателя трансформатора типа ПБВ и измерения сопротивления обмоток трансформатора постоянному току методом измерения падения напряжения (а) и мостовым методом (б):

I—VI — положения переключателя по лимбу переключателя; 2—7 — нумерация стержней (ответвлений); GB — источник постоянного тока; PV — вольтметр; PA — амперметр; P — прибор измерительный (мост)

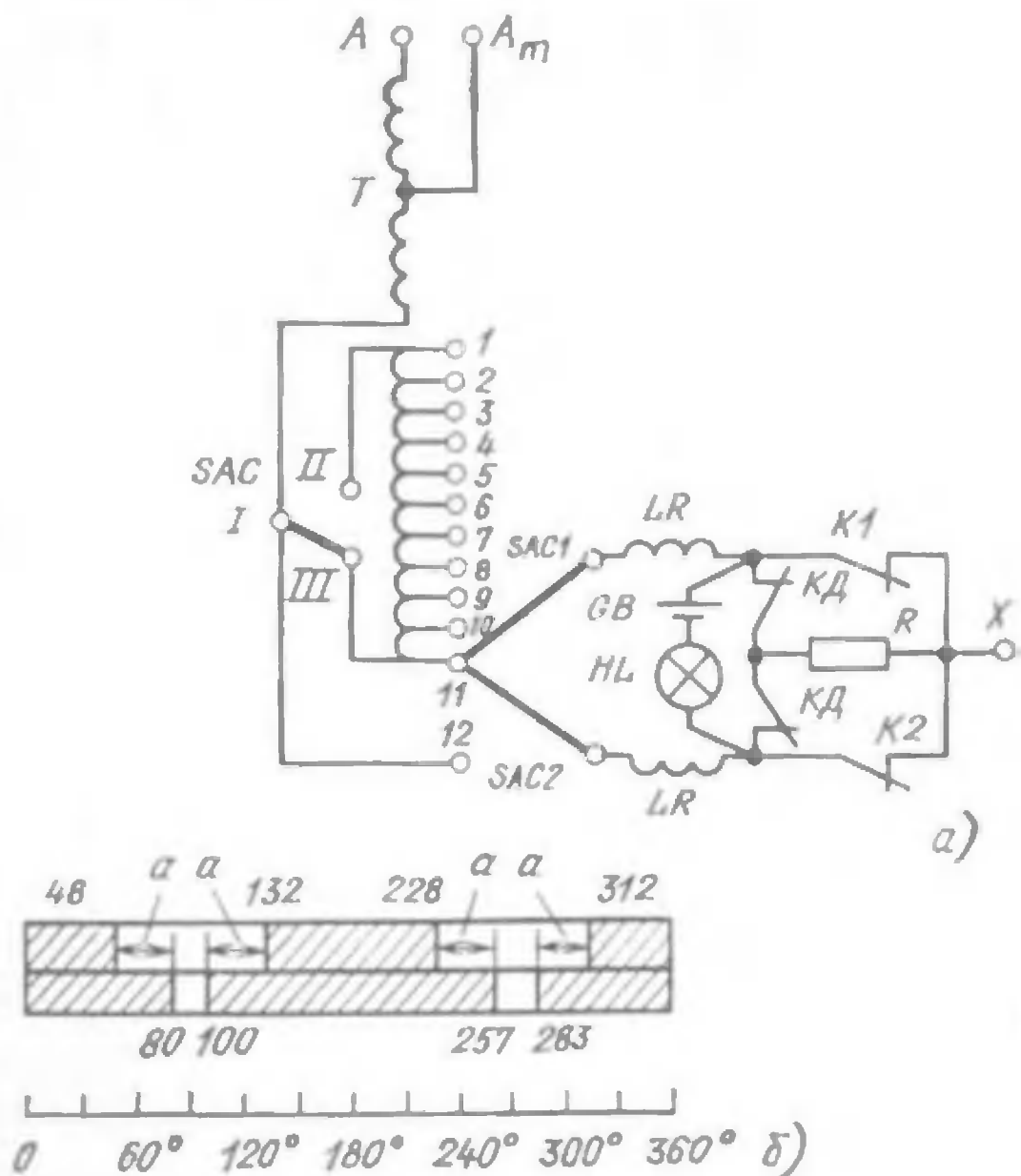


Рис. 126. Электрическая схема переключающего устройства типа РНТ-20 (а) и схема снятия круговых диаграмм (б):

HL — сигнальная лампа, включаемая для снятия диаграмм; КД — силовые и дугогасящие контакты контакторов; LR — токоограничивающий реактор; GB — источник постоянного тока; SAC — предызбиратель, переключающий крайние ответвления регулировочной обмотки; SAC1, SAC2 — избиратели; R — резистор, способствующий гашению дуги на дугогасительных контактах

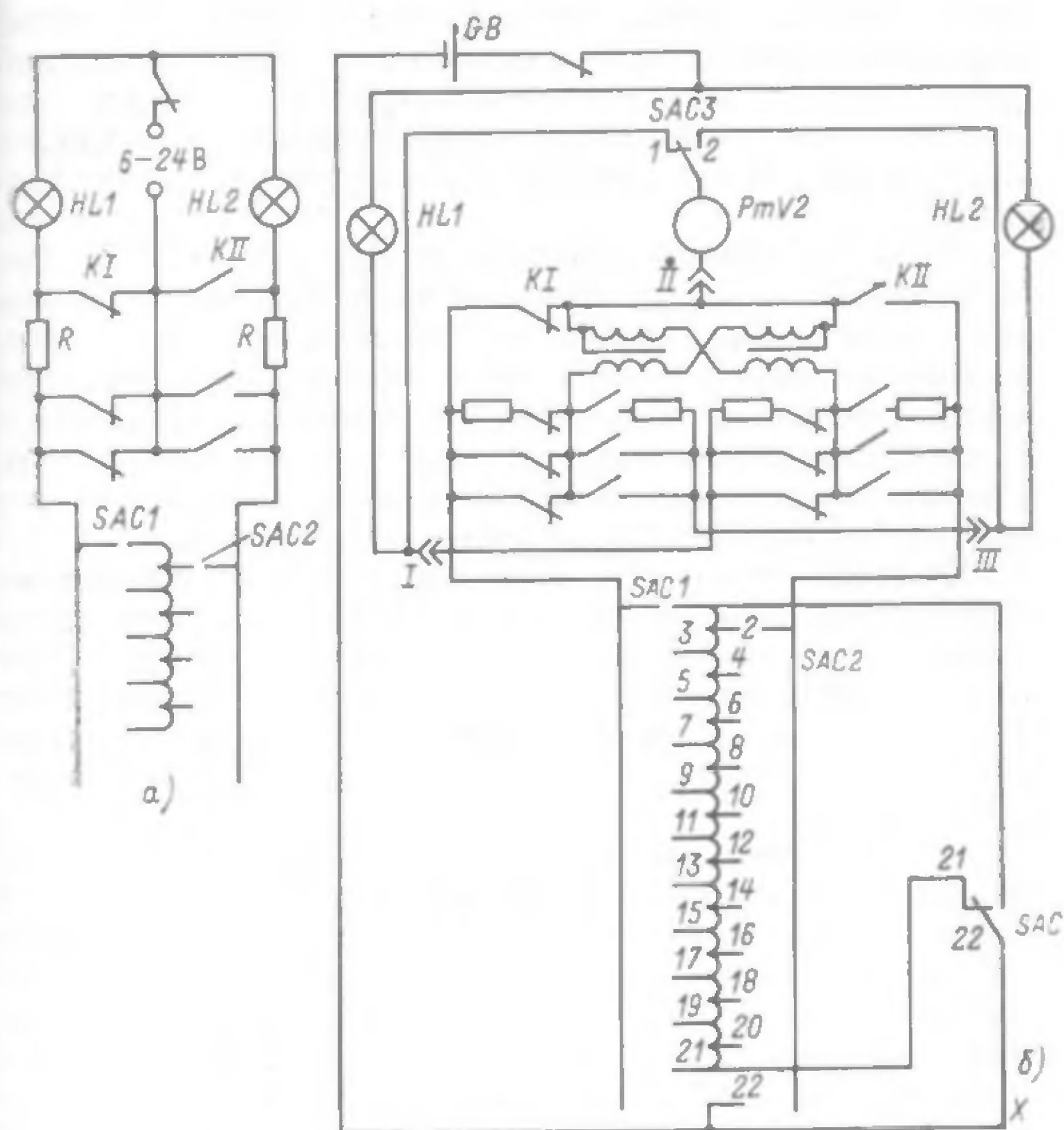


Рис. 127. Схема снятия круговой диаграммы переключающих устройств РНОА и РНТА:

а — с одним механизмом контактора; *б* — с двумя механизмами контактора; *KI*, *KII* — левое и правое плечи контактора, соответственно связанные с избирателями нечетных и четных ответвлений; *HL1*, *HL2* — сигнальные лампы; *R* — токоограничивающий резистор; *SAC1*, *SAC2* — избиратели плеч; *SAC* — предизбиратель; *GB* — источник постоянного тока на напряжение 6–24 В

достаточно, поворачивая рукоятку из положения в положение, измерять сопротивление регулируемой части обмотки трансформатора на всех ответвлениях, как это показано на рис. 125. Наибольшее сопротивление должно ступенчато уменьшаться, будучи одинаковым в положениях *III* и *IV*, что также видно из рисунка.

Отклонения результатов измерения от того, которое должно быть, чаще всего говорят о неправильной уста-

новке крышки головки привода при монтаже, что легко устраняется монтажным персоналом. При повторной проверке переключателя после устранения дефекта для окончательной уверенности следует кроме сопротивления измерить на всех отпайках и коэффициент трансформации.

Проверка переключающих устройств типа РНТ, как более сложного по конструкции из-за наличия избирателей, а иногда и предызбирателей, обеспечивающих безразрывное переключение, производится опробованием через приводной механизм (от руки) с измерением в каждом положении сопротивления, как и в случае ПБВ, а кроме того, обязательным измерением коэффициентов трансформации и снятием круговой диаграммы.

Круговая диаграмма представляет собой диаграмму последовательной работы контактов избирателя, предызбирателя и контактора, выражаемую в градусах, при одном полном обороте вала приводного механизма (рис. 126, б). Проверка производится после измерений сопротивлений и коэффициентов трансформации следующим образом.

Открывается люк контакторного бака или верхняя крышка, сливается некоторое количество масла из него, чтобы получить доступ к дугогасительным контактам для сборки схемы измерений, к каждой паре контактов *КД* подсоединяют сигнальную лампу и источник питания постоянного тока напряжением до 12 В, как это показано на рис. 126, а. Переключатель устанавливается в положение, в котором снималась круговая диаграмма на заводе, приведенная в заводской документации, например в нашем рассматриваемом случае — в положение ответвления *10*, фиксируется положение стрелки, закрепленной на подвижной части привода (заводом), по лимбу со шкалой от 0 до 360° (устанавливается также заводом для снятия круговых диаграмм на верхней части шкафа привода). Это положение принимается за исходное «нулевое».

В исходном положении все контакты замкнуты, сигнальная лампа *НЛ* не горит. При повороте рукоятки привода по загоранию лампы фиксируется угол на лимбе в момент размыкания дугогасительных контактов и главного контакта *К1*. При дальнейшем движении рукоятки в том же направлении фиксируется по лимбу момент размыкания *SAC1* (лампа гаснет), замыкания кон-

такта *SAC1* с контактом последующего ответвления (в нашем случае — *11*), при котором лампа повторно загорается, и в последующем — замыкания контактов *КД* и главного контакта *К1* (лампа вновь гаснет).

К этому моменту вертикальный вал переключателя повернулся на 180° от исходного положения. При дальнейшем движении рукоятки привода размыкаются главный *К2* и дугогасительные контакты *КД* (лампа загорается), размыкается контакт *SAC2* (лампа гаснет) и замыкается с контактом ответвления *11* (лампа вновь загорается), замыкаются опять дугогасительные и главный контакты (*КД* и *К2*). На этом процесс переключения завершается, и по фиксированным при вращении рукоятки привода углам строится круговая диаграмма, показанная на рис. 126, б. При анализе ее обращается внимание на совпадение ее с круговой диаграммой, приведенной в заводской документации, и на угол α между моментами размыкания контактов *К1*, *К2*, *КД* контактора и моментом размыкания соответствующего контакта *SAC1* или *SAC2* избирателя. Для РНТ-20 этот угол должен быть не менее 20° .

Проверка однофазных переключающих устройств производится на каждой фазе в отдельности, трехфазных — одновременно для всех трех фаз (РНТ-9). Снятие круговых диаграмм для быстродействующих переключающих устройств типов РНОА и РНТА, осуществляющих также безразрывное переключение, производится по схеме, представленной на рис. 127 (для РНОА — пофазно, для РНТА — пофазно или одновременно для всех трех фаз), аналогично снятию круговых диаграмм переключателей типа РНТ.

Чередование загорания и погасания сигнальных ламп при снятии круговых диаграмм устройств типов РНОА и РНТА должно быть следующим:

<i>SAC1</i> размыкается	<i>HL1</i> гаснет	<i>HL2</i> горит
<i>SAC1</i> замыкается	<i>HL1</i> загорается	То же
<i>К1</i> замыкается	<i>HL1</i> горит	» »
<i>К11</i> размыкается	То же	» »
<i>SAC2</i> размыкается	» »	<i>HL2</i> гаснет
<i>SAC2</i> замыкается	» »	<i>HL2</i> загорается
<i>К1</i> замыкается	» »	<i>HL2</i> горит
<i>К11</i> размыкается	» »	То же

Круговые диаграммы представлены на рис. 128. Ими устанавливается правильность чередования работы контактов избирателя и контактора в целом. Круговая диа-

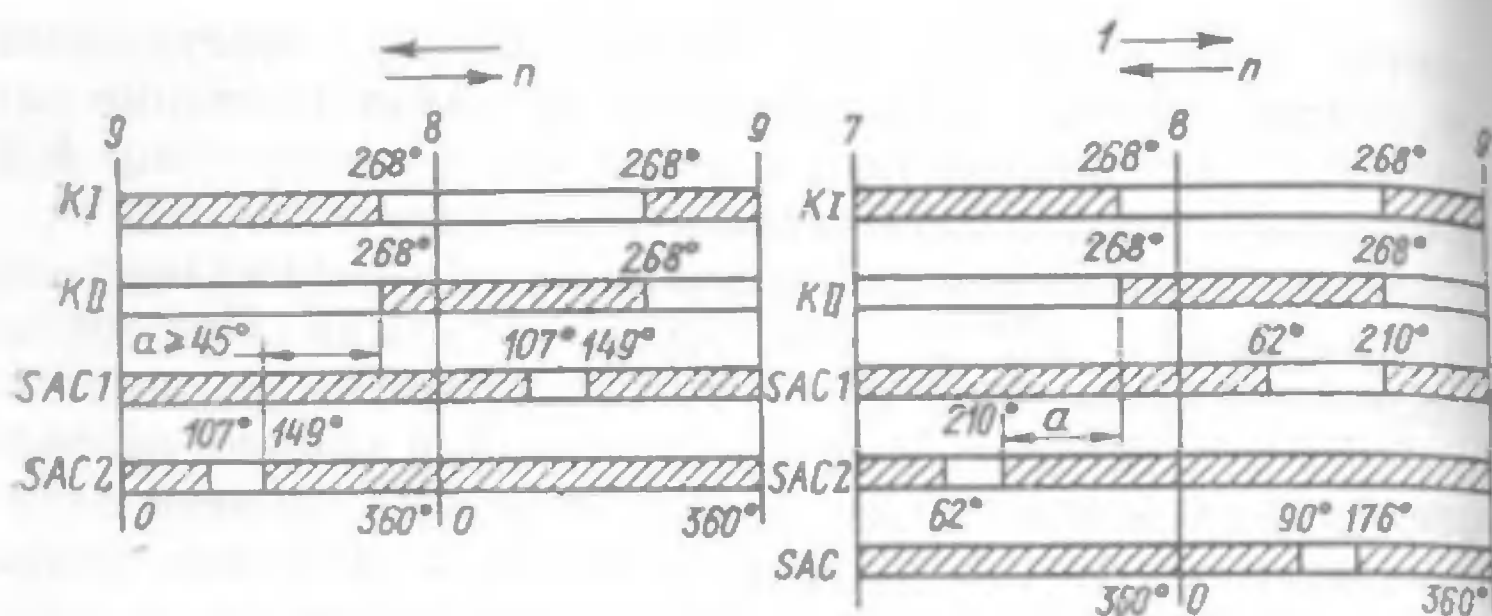


Рис. 128. Круговые диаграммы устройства типа РНОА-110/1000

грамма не позволяет судить об очередности работы контактов контактора. Это уже проверяется на осциллограммах при осциллографировании процесса переключения.

Осциллографирование производится по схеме рис. 129. Типовая осциллограмма переключающих устройств типов РНОА и РНТА представлена на рис. 130. Осциллограмма расшифровывается следующим образом.

В исходный момент работы контактов переключателя в нашем случае замкнуты $K1$, $K2$, $K3$ левого плеча (контакты правого плеча разомкнуты). В этом положении включены нечетные ответвления и ток проходит через главный контакт $K1$, затем $K2$ (точка A на осциллограмме), и весь ток проходит че-

рез плечо резистор R — дугогасительный контакт $K3$ (период $A — B$). В дальнейшем замыкается дугогасительный контакт $K4$ правого плеча (точка B), в результате чего оказываются замкнутыми дугогасительные

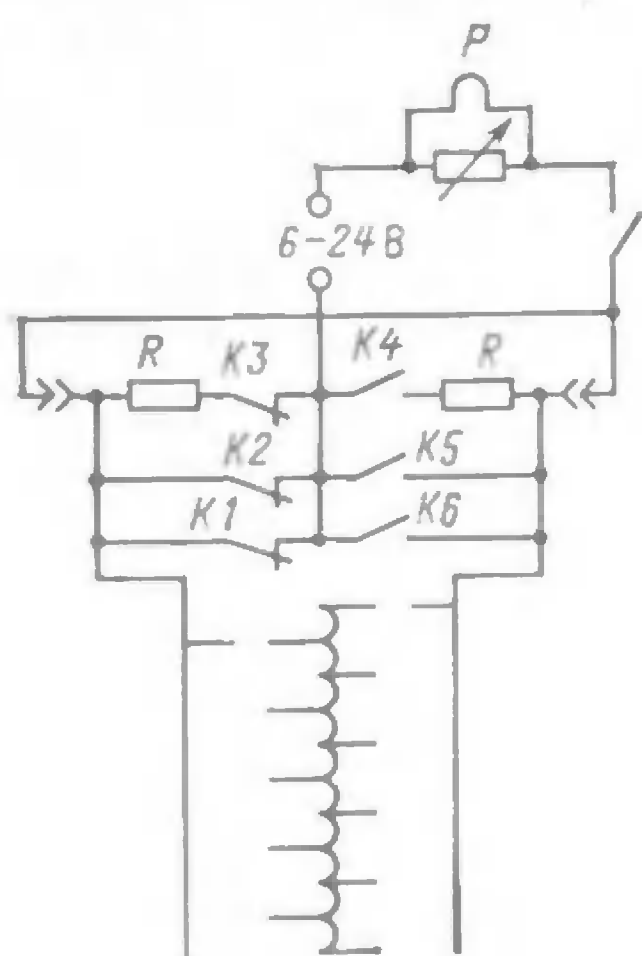
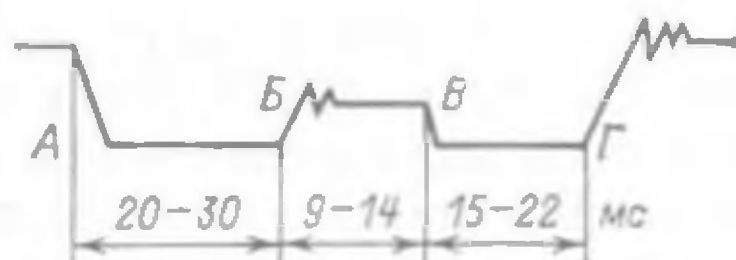


Рис. 129. Схема осциллографирования работы контакторного моста переключателей типов РНОА и РНТА:

$K1$, $K6$ — главные контакты; $K2$, $K5$ — вспомогательные контакты; $K3$, $K4$ — дугогасительные контакты левого и правого плеч; P — гальванометр осциллографа; R — токоограничивающий резистор

Рис. 130. Типовая осциллограмма работы контактора переключающих устройств типов РНОА и РНТА



контакты обоих плеч и ток проходит по двум параллельным ветвям. Это положение называется положением «моста». При нем регулируемая секция обмоток замкнута на оба токоограничивающих резистора (период между *Б* и *В*). В дальнейшем размыкается *К3* и левое плечо полностью отключается (точка *В*), ток с этого момента проходит только через резистор и контакт *К4* правого плеча контактора.

После этого в процессе дальнейшего переключения замыкается контакт *К5*, шунтируя резистор, а за ним и главный контакт *К6* (точка *Т*), через который и четные ответвления обмотки уже проходит ток.

Как видно из осциллограммы, контакты, работающие на замыкание, имеют вибрацию. Эта вибрация у отечественных переключателей ограничена 2 мс в положении «моста» (точка *Б*) и 4 мс в точке *Г*. Характер вибрации не регламентируется.

Путем осциллографирования убеждаются в отсутствии при переключениях разрыва цепи тока при работе контактов контактора.

Фазировка силовых трансформаторов

Перед включением силовых трансформаторов на параллельную работу с сетью должна быть проверена тождественность фаз напряжений включаемого трансформатора и сети. В противном случае возможно протекание значительных уравнивающих токов между параллельно работающими трансформаторами, что ограничивает их используемую мощность или приводит к значительной перегрузке. При несовпадении чередования фаз включение равносильно включению на короткое замыкание.

Такая проверка называется фазировкой и заключается в измерении напряжения между разноименными фазами включаемого трансформатора и сети и фиксации отсутствия напряжения между одноименными фазами. Фазировка производится с помощью вольтметров, если

напряжения сети и трансформатора не более 380 В, и вольтметров, включаемых через трансформаторы напряжения, если фазиремые напряжения более 380 В. На напряжении 2—10 кВ фазировка может производиться с помощью специально предназначенных для этого указателей напряжения.

Во избежание ошибок фазиремые напряжения должны различаться в абсолютных значениях не более чем на 10 %. На рис. 131 и 132 приведены схемы измерений на низком и высоком напряжениях.

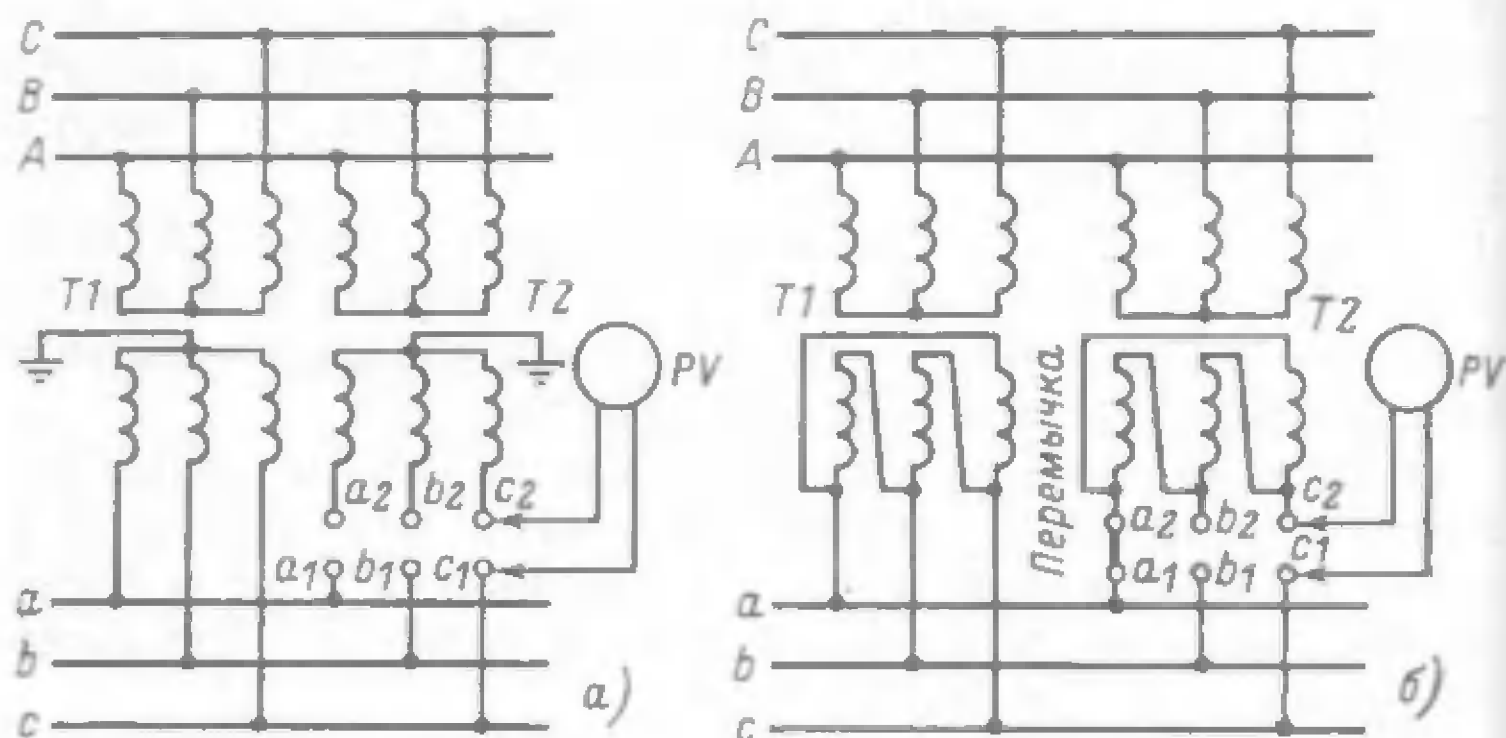


Рис. 131. Фазировка силовых трансформаторов на низком напряжении:

$T1$ — работающий трансформатор; $T2$ — фазиремый трансформатор

При наличии заземления (рис. 131, а) достаточно просто произвести проверку с помощью вольтметра или какого-нибудь индикатора напряжения, так как электрически замкнутый контур, необходимый для измерений, образуется заземлением. При отсутствии заземления (рис. 131, б) для образования электрического контура необходимо перед производством измерений соединить любую пару предполагаемых одноименных фаз с помощью разъединителя или временной перемычки.

Если при измерении оказывается, что между одноименными фазами $a_1—a_2$, $b_1—b_2$, $c_1—c_2$ напряжение отсутствует, а между одной из одноименных и противоположными разноименными $a_1—b_2$, $a_1—c_2$, $b_1—a_2$, $b_1—c_2$, $c_1—a_2$, $c_1—b_2$ напряжение есть и оно примерно одинаково (рис. 133), то такой трансформатор может быть вклю-

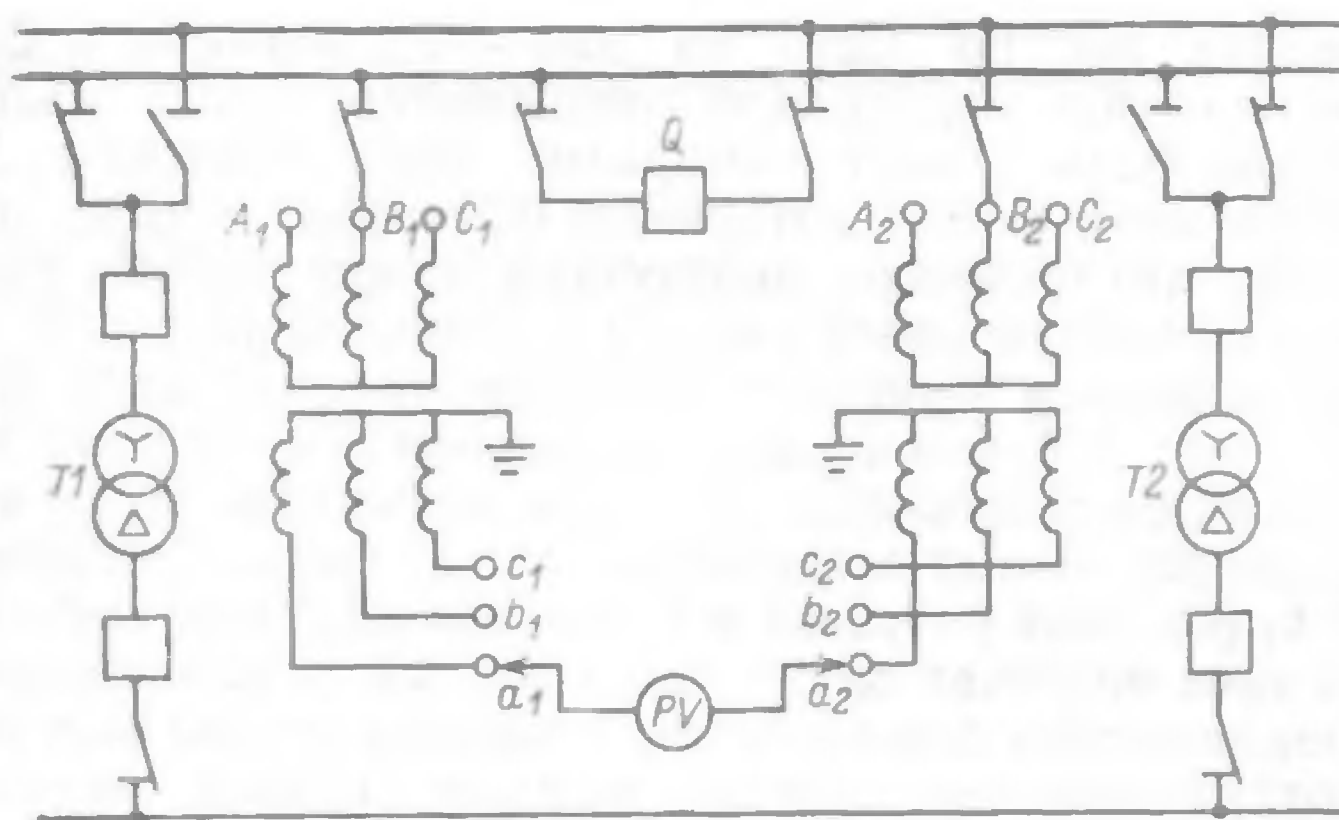


Рис. 132. Фазировка силовых трансформаторов на напряжении более 380 В. Шиносоединительный выключатель Q отключен

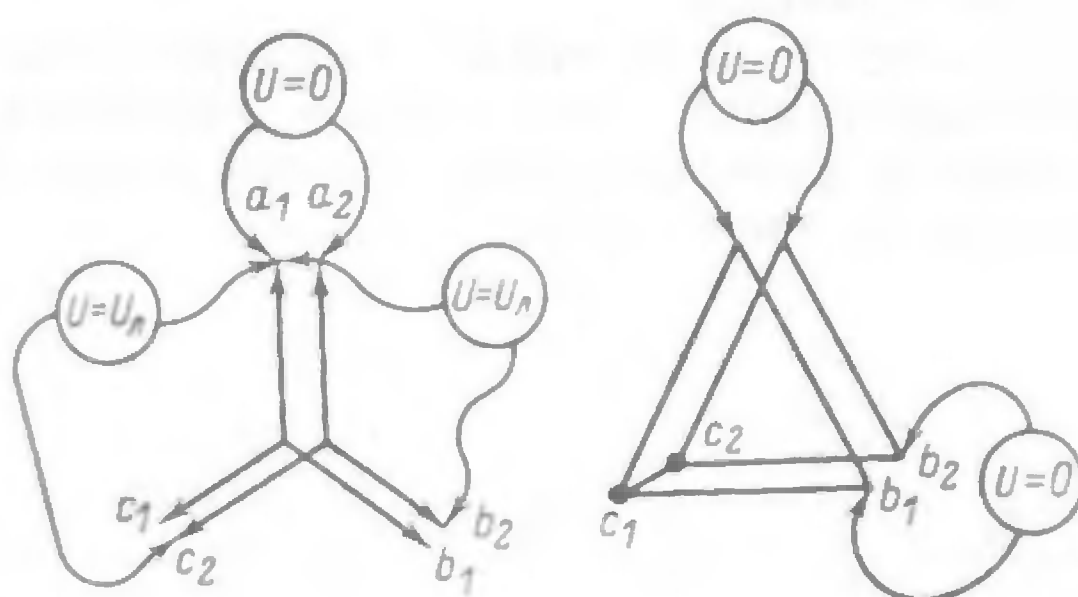


Рис. 133. Векторные диаграммы для нормального случая фазировки трансформаторов

чен в сеть или на параллельную работу с другими трансформаторами. Но возможны и другие случаи, представленные на рис. 134.

На рис. 134, а трансформаторы соединены по схеме У/У, нейтрالي заземлены; при измерении нулевых показаний нет; измеренное напряжение между одноименными фазами $2E_{\phi}$, а разноименными E_{ϕ} . Для возможности включения трансформатора в этом случае необходимо поменять начала и концы всех обмоток фазировемого трансформатора.

На рис. 134, б трансформаторы соединены по схеме У/Д; нейтрالي не заземлены; нулевых показаний при из-

мерениях нет, но одно из них — $E_{\text{л}}$, а второе — $2E_{\text{л}}$. В этом случае переключкой соединяются такие разноименные фазы, между которыми было измерено $E_{\text{л}}$, и после этого вновь повторяется фазировка, чтобы убедиться, что оказались перепутаны между собой фазы a_2 и c_2 (левый рисунок) или a_2 и b_2 (средний рисунок). На рисунке правом дано восстановление перепутанных фаз.

На рис. 134, в показаний с нулевыми значениями нет или имеется только одно, а другие измерения — $3E_{\text{л}}$ или $2E_{\text{л}}$ при различных соединениях a_2 с c_1 (левый рисунок), a_2 с b_1 (средний рисунок) и a_2 с a_1 (правый рисунок). Из всех трех рисунков видно, что имеет место случай сдвига одноименных фаз на 60° , т. е. несоответствие фаз. Необходимо поменять местами фазы со стороны питания фазируемого трансформатора и с низкой стороны, например A с B и a с b , что должно дать обратный сдвиг фаз на 60° и их соответствие. После этого производится контрольная проверка.

Перед фазировкой на высоком напряжении с помощью трансформаторов напряжения у последних должна быть проверена фазировка между собой подачей на них одного и того же напряжения.

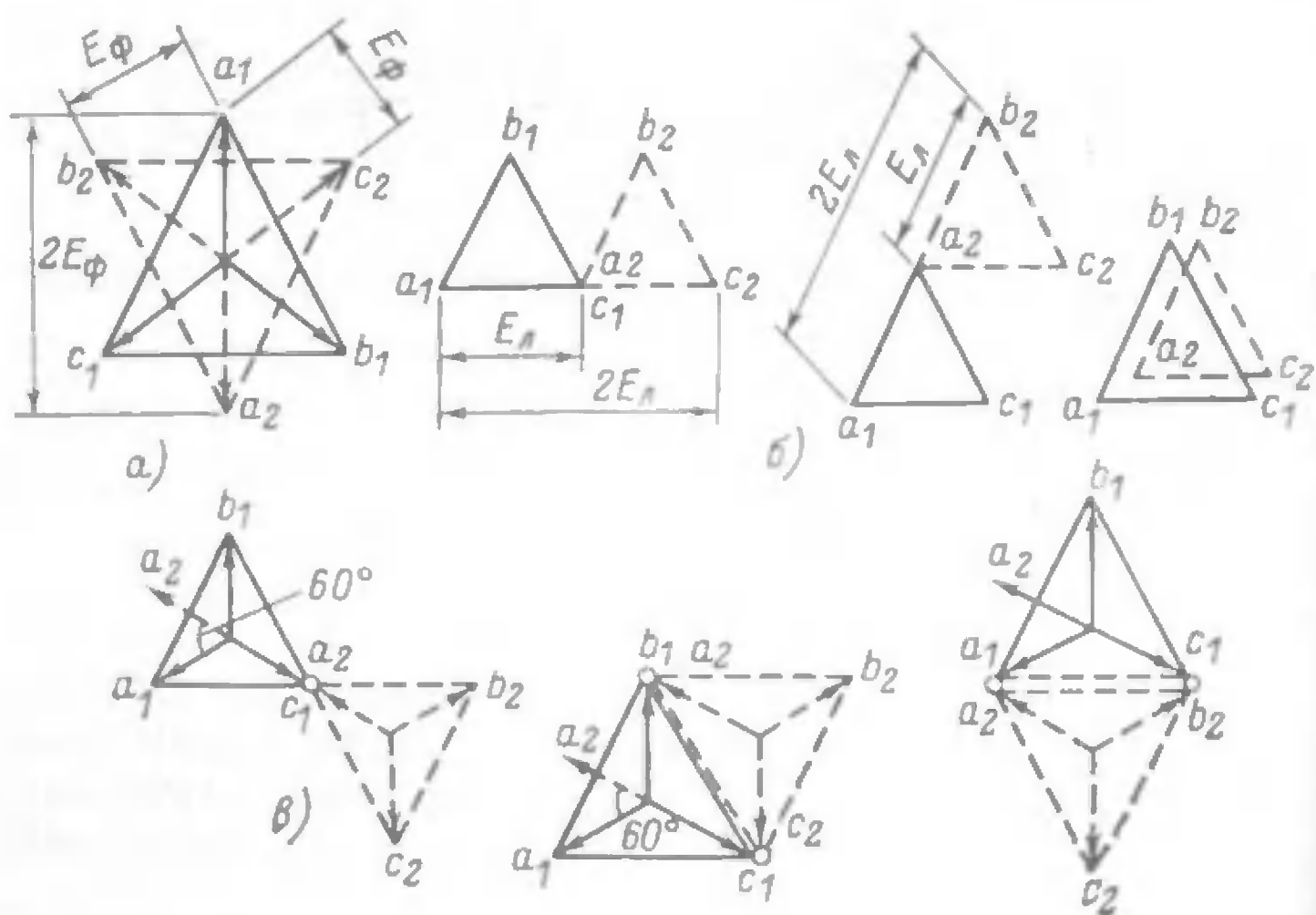


Рис. 134. Векторные диаграммы для некоторых ненормальных случаев фазировки трансформаторов

Включение силовых трансформаторов в работу

Трансформаторы включаются в работу после полного окончания всех монтажных и наладочных работ по всему комплексу электрооборудования и вторичных его устройств при условии удовлетворительных результатов проверки последних.

При первом включении все защитные устройства трансформатора должны быть включены на отключение выключателя. Включение заключается в 3—5-кратной подаче толчком номинального напряжения на холостой трансформатор. Трансформатор может остаться в работе, если не произошло отключение его от защитных устройств и не наблюдается признаков ненормальной работы.

Трансформатор блока генератор—трансформатор перед включением его в работу опробуется напряжением от генератора постепенным поднятием его до номинального. При номинальном напряжении трансформатор «прослушивается» и измеряется ток холостого хода его, который в нормальных условиях должен составлять не более 2—3 % номинального тока. У трехфазных трансформаторов он одинаков в двух крайних стержнях, а у среднего на 20—35 % меньше. Если измеренный ток холостого хода превышает значение, приведенное в заводских протоколах, то за трансформатором в процессе его работы устанавливается наблюдение, так как это может быть признаком наличия в трансформаторе виткового замыкания или дефектов в стали магнитопровода.

5. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Оценка общего состояния и изоляции

Оценка общего состояния в соответствии с общей методикой начинается с внешнего осмотра и установления соответствия паспортных данных измерительных трансформаторов требованиям проекта. При внешнем осмотре обращают внимание на отсутствие видимых повреждений и чистоту поверхности фарфора и литой изоляции, надежность крепления и контактов выводов обмо-

ток, наличие на них заводских обозначений, отсутствие подтекания масла у маслонаполненных трансформаторов, наличие надежных заземлений.

Состояние изоляции обмоток, как и состояние других элементов, проверяется и оценивается в соответствии с требованиями Норм, а с учетом специфичности использования измерительных трансформаторов — также в соответствии с требованиями «Правил технического обслуживания устройств релейной защиты, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и линий электропередачи 35—350 кВ».

Изоляция первичных обмоток проверяется мегаомметром 2500 В, вторичных — 500 или 1000 В. Измерения производятся между каждой из обмоток и заземленными другими. Значение $R_{из}$ у ТН серии НКФ должно в соответствии с требованиями Норм составить не менее 5000 МОм, а для остальных не нормируется, но практически у первичных обмоток, не имеющих дефектов, составляет не менее 10—50 МОм. $R_{из}$ вторичных обмоток вместе с присоединенными цепями и приборами должно составлять не менее 1 МОм.

При удовлетворительных результатах предварительной проверки обмоток мегаомметром и масла (маслонаполненных трансформаторов) изоляция ТН 35 кВ и ниже подвергается испытанию повышенным напряжением 50 Гц в течение 1 мин, а у трансформаторов с литой изоляцией — 5 мин. Значение испытательного напряжения ТН — не более 0,9 испытательного напряжения установленного заводом, изоляция ТТ обычно испытывается одновременно со всей изоляцией аппаратуры распределительного устройства, вводимого в эксплуатацию.

У маслонаполненных трансформаторов согласно требованиям Норм перед испытанием повышенным напряжением измеряется $\operatorname{tg} \delta$ (см. § 2). У ТТ с бумажно-масляной изоляцией измеренное значение $\operatorname{tg} \delta$ не должно превышать 1 % у ТТ 330—500 кВ, 1,5 % у ТТ 150—220 кВ, 2 % у ТТ 60—110 кВ. У каскадных ТТ эти значения относятся к каждой ступени. У ТТ с конденсаторной изоляцией серии ТФРН, ТРН измеренное значение $\operatorname{tg} \delta$ не должно превышать заводское значение более, чем на 50 %.

Изоляция вторичных обмоток для оценки ее состояния, как уже указывалось в § 2 испытывается совместно с цепями переменным напряжением 50 Гц 1 кВ в течение 1 мин.

Проверка магнитопроводов и обмоток трансформаторов тока

Проверка производится по методике, изложенной в § 1, и в соответствии с требованиями Норм. По схеме рис. 135 снимаются характеристики намагничивания подачей на проверяемую обмотку (вторичную) при разомкнутой первичной обмотке переменного регулируемого напряжения. Схема рис. 135, а обеспечивает пределы

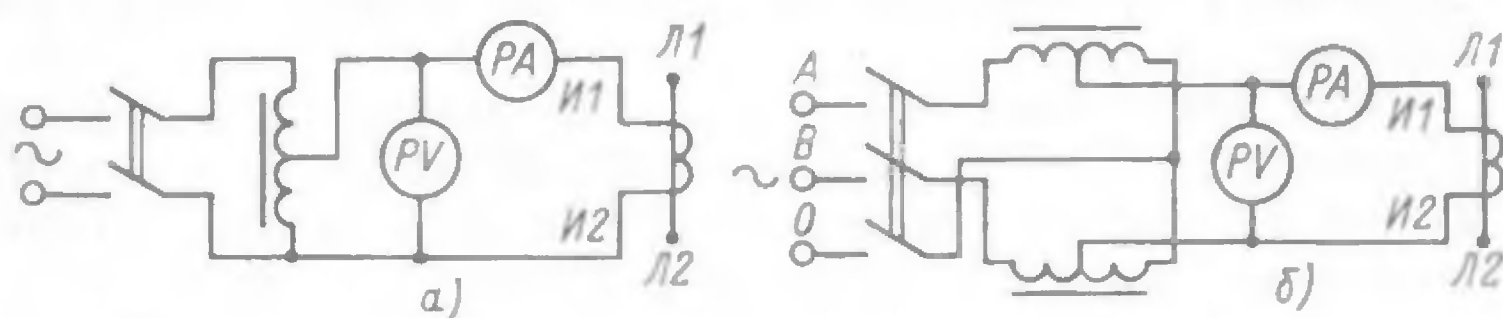


Рис. 135. Схема снятия вольт-амперных характеристик с одним (а) и с двумя (б) регулировочными устройствами:

А, В — фазы подаваемого трехфазного напряжения сети 0,5 кВ; 0 — заземленный «нуль»

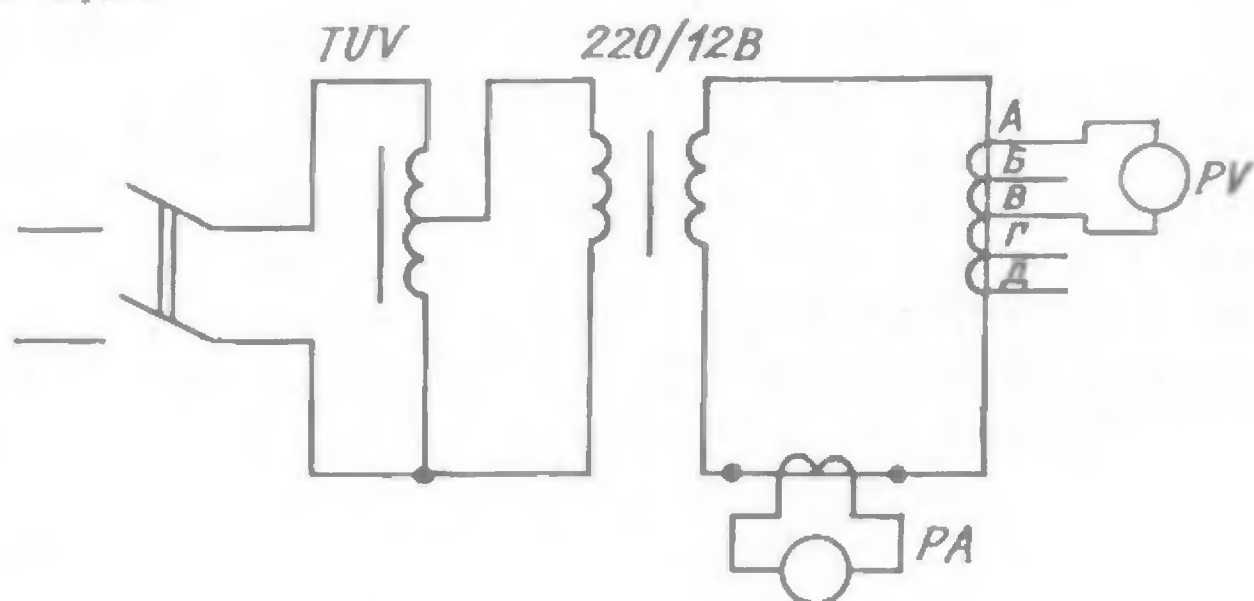


Рис. 136. Схема снятия характеристики намагничивания при подаче тока в первичную обмотку

регулирования от 0 до 250 В, схема рис. 135, б — от 0 до 450 В.

В некоторых случаях характеристика может сниматься также при подаче тока в первичную обмотку и измерении напряжения на выводах вторичной обмотки (рис. 136). Это особенно удобно при проверке встроен-

ных в выключатели трансформаторов тока и трансформаторов тока с вторичным током 1 А, так как сопротивление ветви намагничивания у них очень большое и требует для снятия характеристики обычным способом подачи напряжения на вторичную обмотку до 1500 В, что осложняет проверку и небезопасно для витковой изоляции. При измерениях пользуются вольтметром и амперметром электродинамической или электромагнитной системы. В качестве источника регулируемого напряжения рекомендуется использовать лабораторный автотрансформатор, который вносит меньшее искажение в форму кривой напряжения. Практически применяются обычно автотрансформаторы типа ЛАТР-2.

Характеристика снимается до номинального тока или до начала насыщения измерением напряжения при 6—8 значениях тока.

Для трансформаторов тока, имеющих собственную первичную обмотку, допускается измерение напряжения U_1 производить на выводах первичной обмотки и пересчитывать его на U_2 вторичной обмотки по формуле

$$U_2 = 1,11U_1 \frac{\omega_2}{\omega_1}.$$

где 1,11 — коэффициент, учитывающий градуировку вольтметра в средних значениях; ω_1 и ω_2 — количество витков первичной и вторичной обмоток.

Для каскадных ТТ измерение тока намагничивания производится отдельно для каждой ступени.

Оценка исправности ТТ при новом их включении производится сопоставлением снятых вольт-амперных характеристик однотипных ТТ с одинаковыми коэффициентами трансформации. Если какая-либо характеристика располагается значительно ниже остальных, это указывает на наличие в данном ТТ виткового замыкания. В этом случае производятся дополнительные исследования для того, чтобы убедиться в необходимости его отбраковки.

В соответствии с требованиями ГОСТ заводы в настоящее время указывают в паспорте на трансформаторы тока значения U_2 и $I_{2ном}$ для контрольных замеров при новых включениях их, что упрощает проверку ТТ.

Характеристики намагничивания встроенных трансформаторов тока снимаются дважды — до закладки их в выключатель или трансформатор для определения ис-

правности и комплектования для дифференциальных защит и после закладки для проверки отсутствия повреждения при установке высоковольтных вводов. Но в последнем случае для проверки затруднено использование схемы с первичным током у ТТ выключателей и совсем исключается использование этой схемы для силовых трансформаторов.

Для ТТ встроенных и имеющих внутренние переключающие устройства для изменения коэффициента трансформации K согласно требованиям Норм производится проверка коэффициентов трансформации. На рис. 137

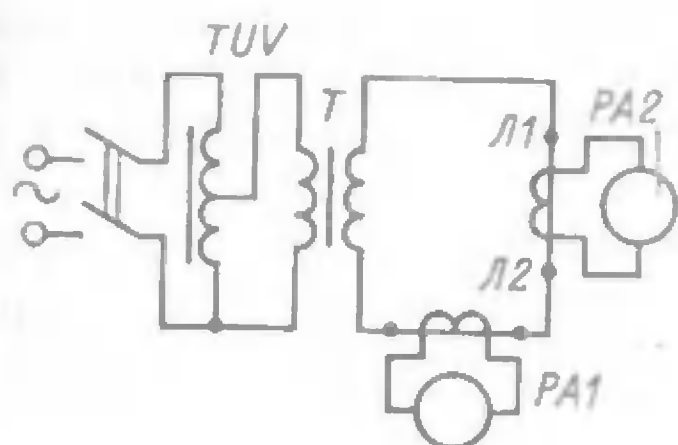


Рис. 137. Схема измерения коэффициента трансформации трансформатора тока K

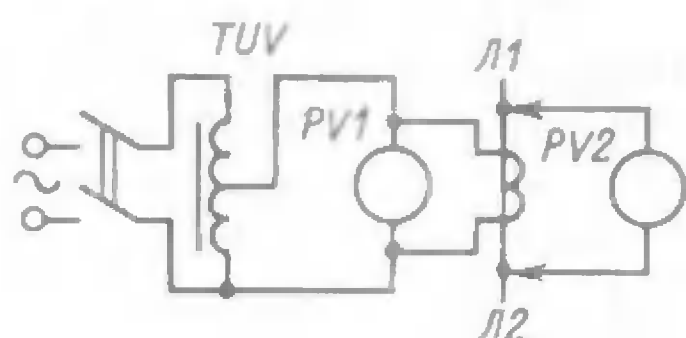


Рис. 138. Схема измерения K методом измерения напряжения

приведена схема проверки K первичным током от нагрузочного устройства.

Выбор нагрузочного устройства T и регулировочного устройства TUV зависит от номинального первичного тока ТТ. Значение тока, при котором производится измерение, не регламентируется и устанавливается лишь из условия удобств измерения приборами $PA1$ и $PA2$. Удобно пользоваться для измерений первичного тока электроизмерительными клещами типа Ц-91, а для измерений вторичных токов — прибором ВАФ-85М.

Первичный ток устанавливается обычно в пределах $(0,1—0,25) I_{ном}$. Если ТТ имеет несколько вторичных обмоток то те, в которых не производят измерения, должны быть замкнуты; по той же причине, что не допускается разомкнутость обмоток ТТ при его проверке или работе под током, не разрешается переключать пределы измерения амперметра без предварительного закорачивания обмотки ТТ (в противном случае возникают большие и опасные перенапряжения во вторичных обмотках).

Коэффициент трансформации по результатам изме-

рений определяется по формуле

$$K = I_1/I_2.$$

У ТТ, поставляемых заводом в собранном виде и имеющих первичную обмотку, можно измерить K по схеме рис. 138 подачей на вторичную обмотку напряжения, регулируемого автотрансформатором TUV , и измерением вольтметром $PV1$ напряжения вторичной обмотки. Коэффициент трансформации определяется по этой схеме проверки отношением

$$K = U_1/U_2.$$

Напряжение U_2 обычно очень мало (менее 1 В), поэтому рекомендуется использовать для его измерения вольтметр с соответствующими пределами измерения и с внутренним сопротивлением не менее 1 кОм/В.

При отсутствии по каким-либо причинам обозначений выводов у встроенных трансформаторов тока можно их определить по схеме рис. 139. Для этого регулирую-

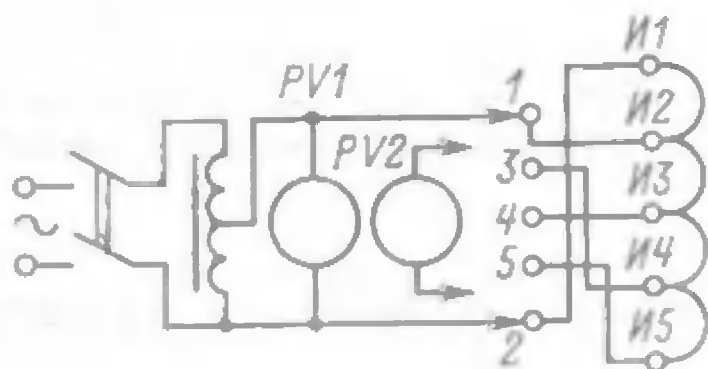


Рис. 139. Определение выводов встроенных трансформаторов тока

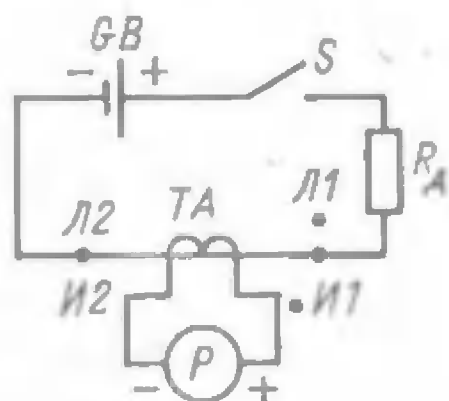


Рис. 140. Схема проверки полярности выводов обмоток трансформаторов тока

мое автотрансформатором напряжение 50—100 В подается на любые два вывода и вольтметром $PV2$ измеряется напряжение между всеми ответвлениями (выводами).

Максимальное напряжение определяет крайние выводы $И1$ и $И5$. Подав теперь уже на эти выводы напряжения, измеряют напряжения между $И1$ и остальными выводами, по значению которых определяют все остальные выводы ТТ, учитывая, что эти значения пропорциональны числу вторичных витков обмотки. При этой проверке легко выявляются выводы $И1—И2$ и $И4—И5$, что облегчает последующее определение остальных выводов благодаря конструктивной особенности выполнения

встроенных трансформаторов — уменьшение заводом на участке между первыми выводами *И1* и *И2* числа витков по сравнению с тем, какое оно должно было бы быть по расчету коэффициента (делается с целью компенсировать погрешность ТТ по току). Из-за этого измеряемое напряжение между выводами *И4* и *И5* несколько больше, чем между *И1* и *И2*, несмотря на одинаковые коэффициенты трансформации тока на этих участках обмотки, что позволяет выявить эти выводы.

Кроме перечисленных проверок у обмоток измеряются сопротивления их постоянному току одним из приведенных в § 2 методов и проверяются полярности обмоток по схемам рис. 140 и 141.

Однополярными у ТТ являются выводы *Л1* (Н) и *И1*, *1И1*, *2И1* и т. д., а также *Л2* (К) и *И2*, *1И2*, *2И2* и т. д.

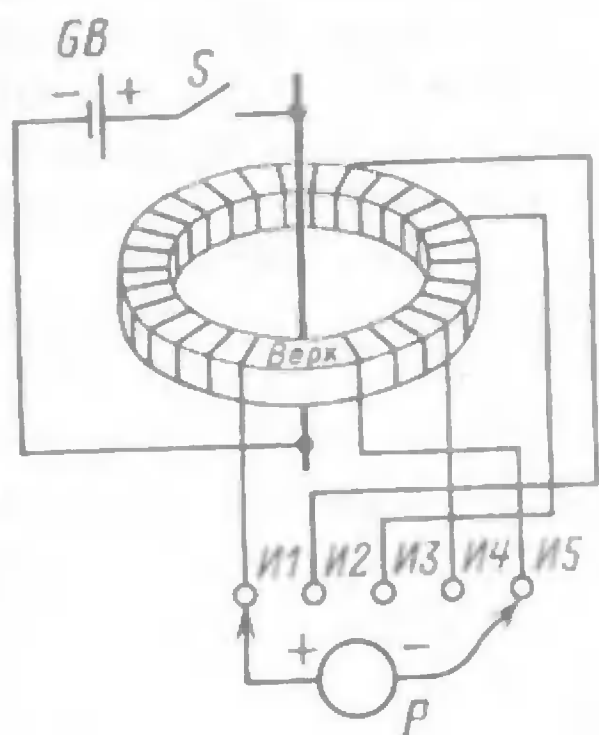


Рис. 141. Схема проверки полярности выводов обмоток встроенных трансформаторов тока

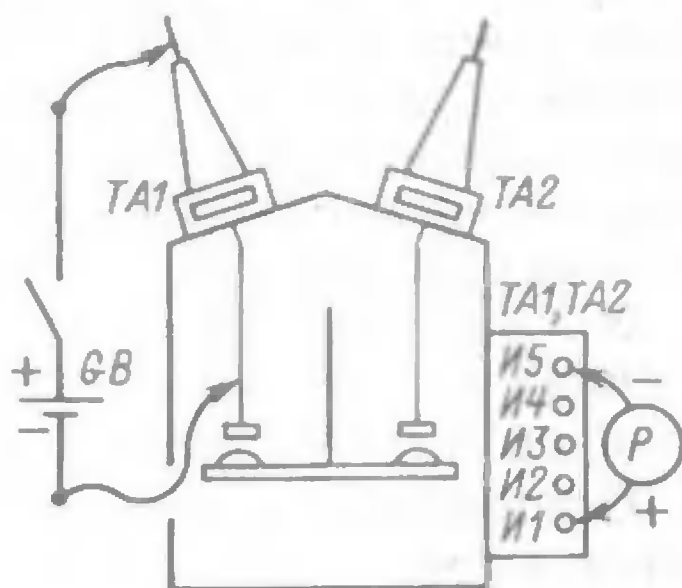


Рис. 142. Проверка правильности установки трансформаторов тока на выключателе

Для определения однополярности выводов встроенных ТТ перед установкой их на выключатель через отверстие ТТ продевается провод, выполняющий роль первичной обмотки (рис. 141). Нормально вывод *Л1* должен быть сверху ТТ, а вывод *Л2* — снизу. Соответственно заводом прикрепляется на ТТ паспортная табличка, помогающая ориентироваться при установке ТТ на ввод.

После установки ТТ и до заливки выключателя маслом делается контрольная проверка правильности уста-

новки и выполнения монтажа цепей от выводов ТТ до сборки в шкафном устройстве. Эта проверка производится по схеме рис. 142 в следующей последовательности: плюс батареи поочередно подключается к внешним зажимам вводов выключателя, а минус — к неподвижному контакту соответствующего ввода внутри бака; к выводам вторичных обмоток к шкафу рядов зажимов подключается прибор, как показано на рисунке; по отклонению стрелки прибора в момент подключения прибора вправо убеждаются в однополярности выводов Л1 («вверх»).

Для проверки однополярных зажимов ТТ, устанавливаемых на вводы силовых трансформаторов, вскрывается верхняя крышка и в окно ТТ опускается токоведущий стержень, чтобы он коснулся дна корпуса, в который заводом закладывается ТТ. Этот стержень, изолированный в верхней его части от корпуса, служит первичной обмоткой, к которой подключается плюс источника постоянного тока *GB*. Минус источника подключается к корпусу ТТ. Вся остальная проверка производится в полной аналогии с проверкой на выключателе.

У каскадных ТТ полярность проверяется у каждого каскада в отдельности из-за неудобства проверки в собранном виде, вызываемого габаритами собранных ТТ.

Особенности проверки шинных ТТ нулевой последовательности. ТТ такого типа предназначены для выполнения токовой защиты от замыкания на землю в обмотках статоров синхронных генераторов и компенсаторов, работающих на сборные шины. Трансформатор состоит из двух магнитопроводов, собранных из пластин трансформаторной стали и разделенных между собой немагнитными прокладками. Шины первичной цепи с изолированными прокладками располагаются симметрично в окне магнитопровода. Вторичная обмотка разделена на две одинаковые секции, расположенные на коротких сторонах магнитопровода, и охватывает оба сердечника (рис. 143). Схема соединения вторичной обмотки выбирается из условия обеспечения минимальной ЭДС небаланса, вызванной несимметрией токов нагрузки по фазам. Секции или соединяются параллельно, или используется одна, но вторая в этом случае остается разомкнутой. Обмотки намагничивания разделены на две одинаковые секции, соединенные встречно-последовательно. Секции располагаются на длинных сторонах

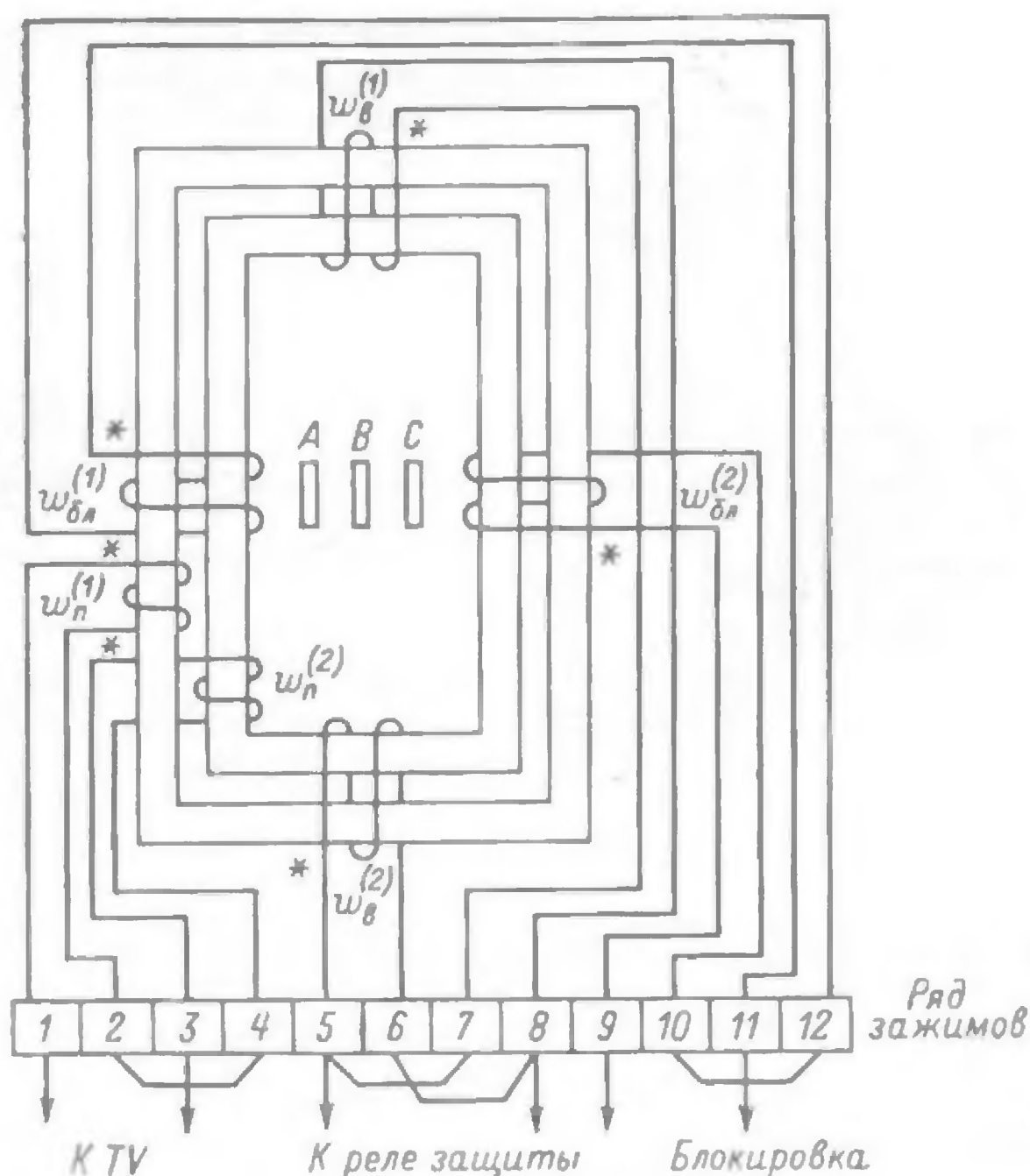


Рис. 143. Схема вторичных обмоток ТНПШ:

$w_v^{(1)}$, $w_v^{(2)}$ — секции вторичной обмотки; $w_{бл}^{(1)}$, $w_{бл}^{(2)}$ — секции блокировочной обмотки; $w_п^{(1)}$, $w_п^{(2)}$ — секции обмотки подмагничивания

магнитопровода и охватывают по одному сердечнику.

Блокировочная обмотка разделена на две секции, охватывающие оба сердечника посередине длинных сторон и соединенные между собой встречно-последовательно. Необходимо строго соблюдать рекомендации завода по установке и монтажу шинных ТТ, так как несоблюдение их может приводить во время работы генератора (компенсатора) к недопустимым токам небаланса и нагревам шин.

Проверка изоляции первичных и вторичных обмоток и испытание ее повышенным напряжением проводятся в соответствии с требованиями заводской документации и Норм. Проверка ЭДС небаланса от тока подмагничивания производится по схеме рис. 144 при подаче на обмотку подмагничивания напряжения 110 В. ЭДС небаланса измеряется при этом поочередно на обеих секциях

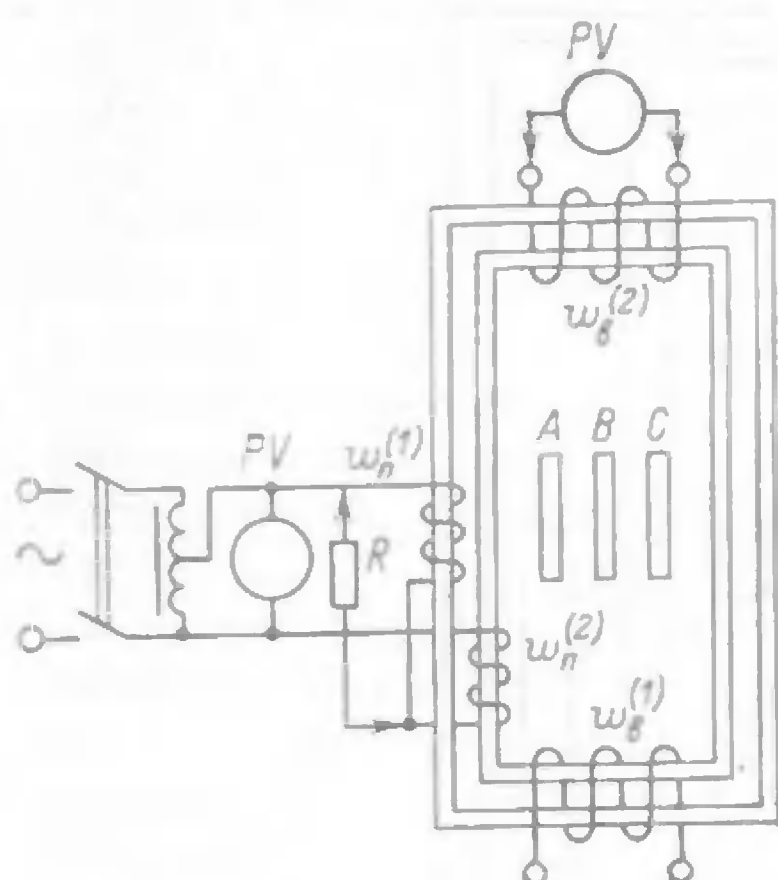


Рис. 144. Схема проверки небаланса ТНПШ от тока подмагничивания

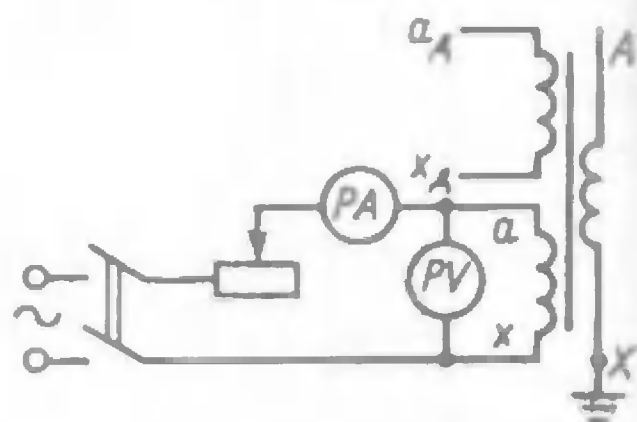


Рис. 145. Схема измерения тока холостого тока (подмагничивания) трансформаторов напряжения

($w_b^{(1)}$, $w_b^{(2)}$) разомкнутой вторичной обмотки и при параллельном соединении секций. Допустимое значение небаланса — не более 100 мВ. Большие значения измеренного ЭДС небаланса являются признаком того, что имеет место повреждение или неправильное соединение секций подмагничивания.

С помощью специально предусмотренного незакрепленного длинного вывода одной из секций обмотки подмагничивания уменьшением или увеличением числа витков в обмотке добиваются минимального значения ЭДС небаланса. Если указанным способом не удастся добиться нужных результатов, рекомендуется шунтировать одну из обмоток подмагничивания резистором типа МЛТ-2 с сопротивлением 1—30 кОм. Обмотка, подлежащая шунтированию, и значение сопротивления определяются опытным путем. К подобранному резистору припаиваются оконцеватели, и он устанавливается на зажимах выводов ТТ. Лучшие результаты дает совместное использование обоих способов. После окончания регулировки дополнительные витки тщательно укрепляются и оплетка их пропитывается изоляционным лаком.

Для каждой обмотки отдельно и при их встречно-последовательном соединении в завершение снимаются характеристики намагничивания для последующего контроля при эксплуатационных проверках.

Проверка магнитопроводов и обмоток трансформаторов напряжения

Для оценки состояния магнитопроводов ТН Нормами рекомендуется измерение тока холостого хода, но значения его не регламентируются. Заводскими требованиями ток ХХ должен измеряться для оценки состояния только у каскадных ТН.

Для измерения на вторичную обмотку подается напряжение по схеме рис. 145 и измеряется ток. В качестве резистора, показанного на схеме, используются нагрузочные реостаты, позволяющие регулировать ток в пределах 40—50 А, так как у ТН типа НКФ-110 ток ХХ составляет 10 А, а у НКФ-220 25 А и выше. Использовать в качестве регулирующего ток устройства автотрансформатор не рекомендуется, так как в этом случае из-за возможного искажения формы кривой тока амперметр может показывать заниженное значение тока ХХ. При проверке следует учитывать, что ток по вторичной обмотке не должен превышать максимально допустимое значение, определяемое максимальной мощностью трансформатора по паспорту.

Измерение коэффициента трансформации ТН. Согласно требованиям Норм для оценки состояния ТН измерение коэффициента трансформации обязательно только для каскадных ТН, которые поставляются заводом на монтажную площадку в разобранном виде. Правильность соединения отдельных блоков при монтажной сборке проверяется измерением общего коэффициента трансформации. Для остальных типов ТН, поставляемых в собранном виде, измерение коэффициента необязательно, но при необходимости может быть произведено по схемам, приведенным на рис. 146.

В качестве устройства, регулирующего напряжение, в схемах используется автотрансформатор типа ЛАТР, в качестве вольтметров — вольтметры класса не ниже 1,0. Подача и измерения напряжений по схемам рис. 146, б—е производятся в зависимости от схем соединения обмоток ТН — U_n/U_n , U/U_n , а также от того, выведен нулевой вывод или нет, есть ли дополнительная обмотка. По схеме рис. 146, а проверяются однофазные трансформаторы напряжения.

Проверка дополнительных обмоток имеет некоторые особенности. Ее можно производить однофазным и трех-

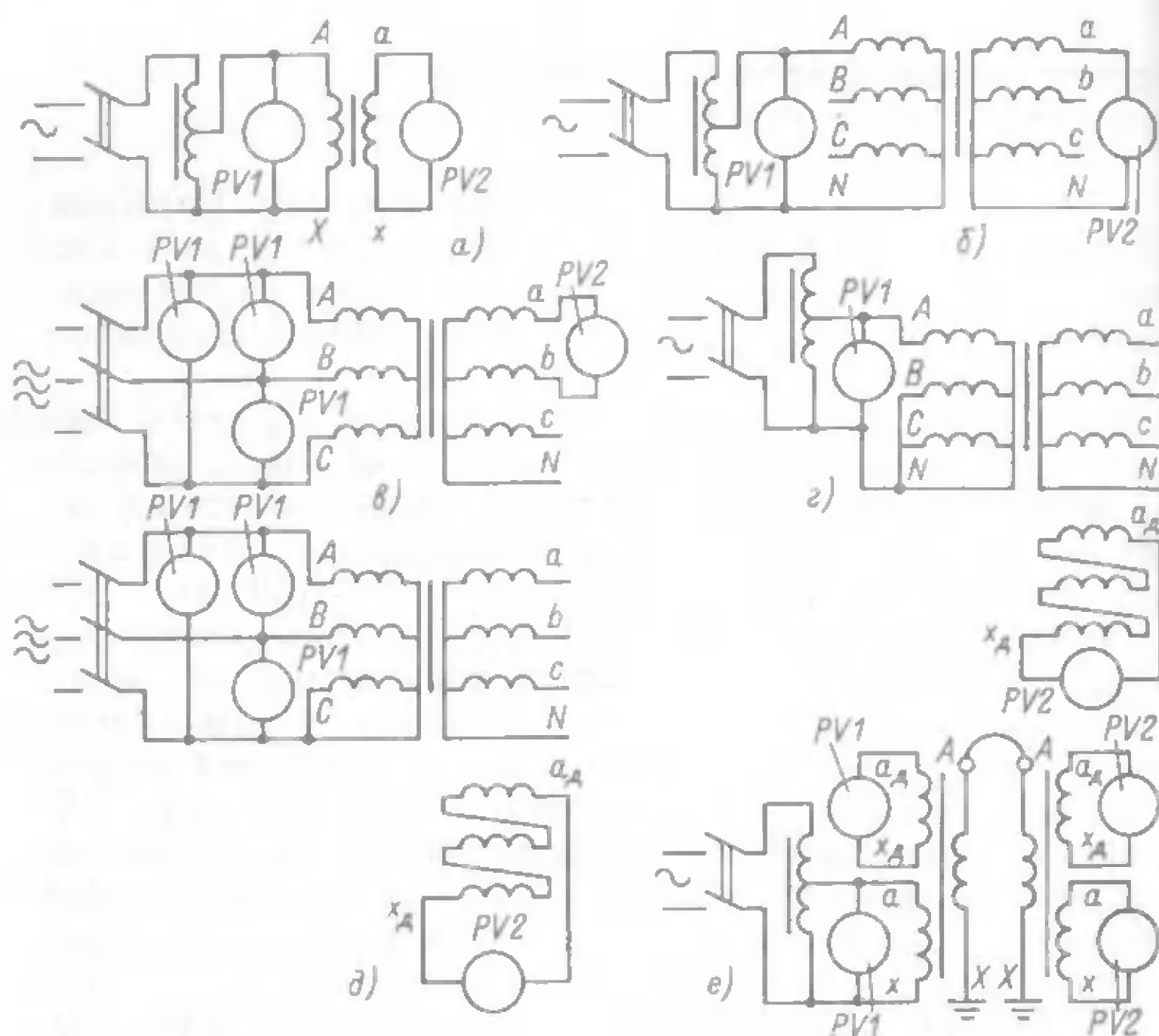


Рис. 146. Схемы измерения коэффициентов трансформации трансформаторов напряжения однофазных (а), трехфазных со схемой соединения обмоток Y_n/Y_n (б), трехфазных со схемой соединения обмоток Y/Y_n (в), трехфазных со схемой соединения обмоток Y_n/Y_n и «разомкнутый треугольник» (г, д) по однофазным и трехфазным схемам, а также методом сравнения (е)

фазным напряжением. Однофазное напряжение поочередно подается на выводы обмоток A, B, C и нейтрали (рис. 146, г), при этом две другие первичные обмотки присоединяются к нулевому выводу. Отношение первичного напряжения к измеренному на выводах $a_d—x_d$ будет соответствовать определенному коэффициенту K для дополнительной обмотки.

Более наглядно можно произвести проверку K дополнительной обмотки, подавая на первичные обмотки TH трехфазную систему напряжений (рис. 146, д) при замкнутой на нулевой вывод одной фазе. Измеренное напряжение на $a_d—x_d$ в этом случае в 3 раза больше, чем при измерении по однофазной схеме, а фаза напряжения на $a_d—x_d$ соответствует фазе первичного напря-

жения, присоединенного к нулевому выводу. Для трансформаторов напряжением 35 кВ и выше (все они однофазные) пользоваться методом прямого измерения коэффициента трансформации трудно, так как напряжение на вторичных обмотках получается незначительным, и это существенно влияет на точность измерения. В таких случаях K проверяется сравнением напряжений на вторичных обмотках двух проверяемых однофазных ТН. Для этого первичные обмотки ТН соединяют параллельно (рис. 146, *e*) и на вторичную обмотку одного из них (как правило, на основную $a-x$) подают напряжение от регулировочного устройства (достаточно 20—30 В). При равенстве коэффициентов трансформации проверяемых ТН измеренные на a_d-x_d напряжения должны быть для ТН, используемых в сетях с изолированной нейтралью, в $\sqrt{3}$ раз меньше, чем поданное напряжение, для ТН 110 кВ и выше, используемых в сетях с заземленной нейтралью, в $\sqrt{3}$ раз больше. Напряжения на основных обмотках должны быть равны.

Для ТН, используемых в устройствах релейной защиты и автоматики с фазочувствительными элементами, а также с поврежденными заводскими обозначениями выводов обязательно определение однополярных выводов. В других случаях эта проверка для оценки состояния ТН необязательна.

Однополярными выводами у ТН являются выводы $A-a-a_d$ и $X-x-x_d$. Проверку их полярности производят импульсами постоянного тока методом, описанным в § 2. Вывод $+$ батареи и прибора подключаются соответственно к выводам A и a ТН. При их однополярности стрелка прибора отклоняется вправо при замыкании и влево при размыкании цепи.

Некоторые особенности имеет проверка полярности выводов у трехфазных ТН. При соединении их обмоток Y_n/U_n в схеме рис. 147, *a* однополярны те выводы, при подключении к которым $+$ источника и прибора стрелка отклоняется вправо, при этом на других обмотках при таком же подключении стрелка прибора в нормальном случае должна отклоняться влево.

При соединении обмоток в разомкнутый треугольник Y_n/D в схеме рис. 147, *b* однополярны те выводы, при подключении к которым $+$ батареи (поочередно на A, B, C) и $+$ прибора к a_d-x_d стрелка в момент замыкания цепи отклоняется вправо.

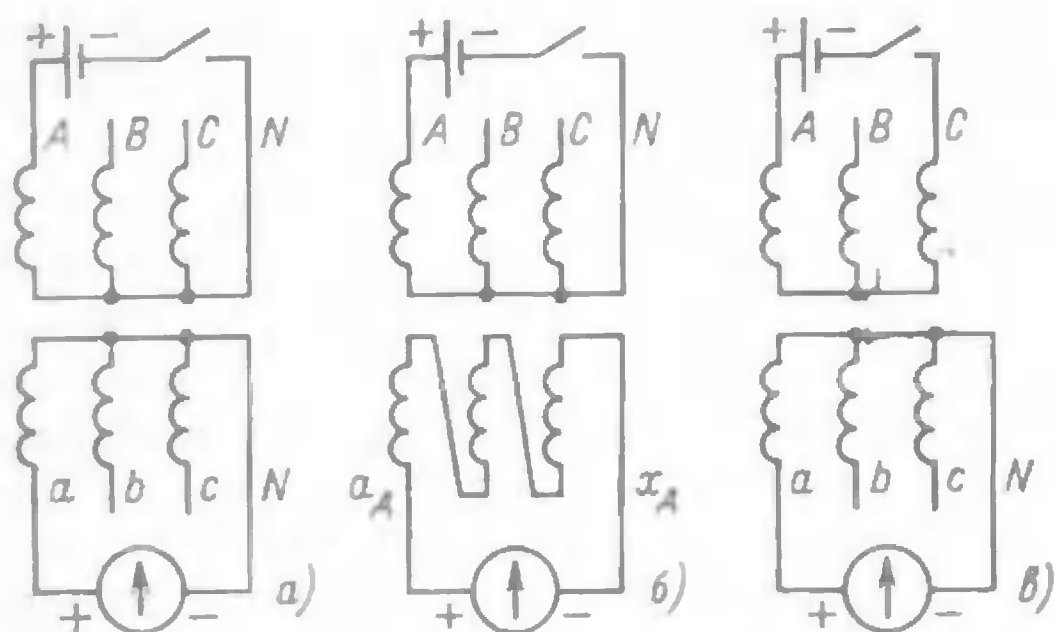


Рис. 147. Схемы проверки полярности и правильности обозначения выводов трансформаторов напряжения трехфазных со схемой соединения Y_n/Y_n (а), со схемой соединения Y_n/D (б) и со схемой соединения Y/Y_n (в)

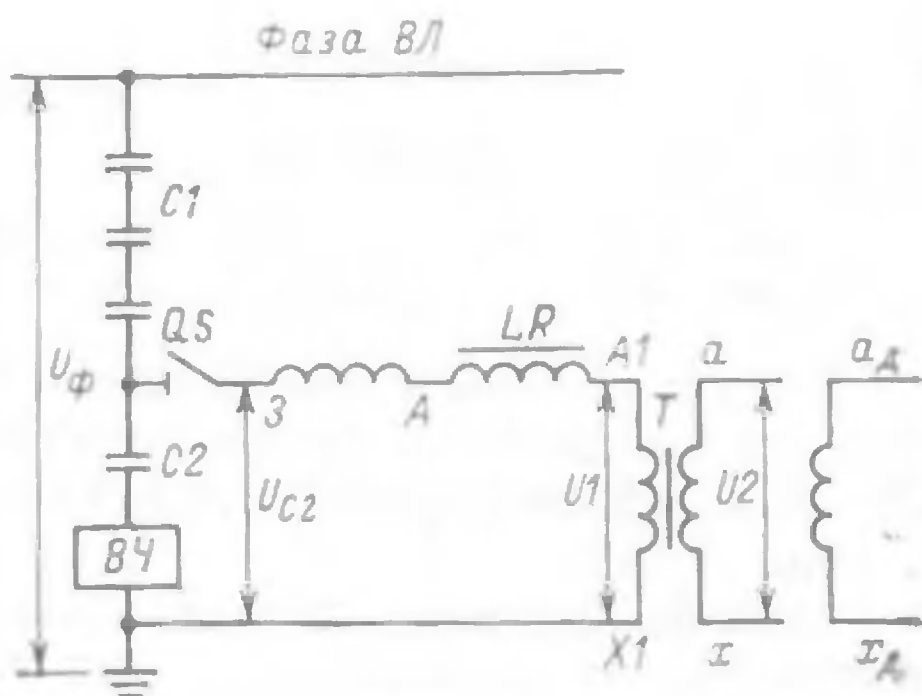
По схеме рис. 147, в рекомендуется производить проверку полярности у обмоток, соединенных в схему Y/Y_n . В этом случае $+$ прибора подключается поочередно к выводам a, b, c , а батарея — соответственно к выводам AB, BC, CA зажимом $+$ к A, B, C . При замыкании цепи стрелка прибора отклонится вправо, если выводы однополярны, при этом на других обмотках в одном случае — влево, а в другом — незначительно или останется в нулевом положении.

Особенность проверки каскадных ТН. Трансформаторы напряжения 110 кВ и выше изготавливаются аналогично ТТ в виде каскадов, т. е. нескольких ТН, соединенных последовательно по первичным обмоткам. Такая конструктивная особенность требует для оценки состояния проверки целостности связующих обмоток отдельных блоков и экранов до монтажа. Проверка производится прозвонкой пробником или мегаомметром. Кроме того, у таких ТН при измерении тока холостого хода отсоединяются конденсаторы (во избежание значительного увеличения тока), которые проверяются отдельно измерением $\tan \delta$.

Проверка ТН с емкостными делителями. На рис. 148 представлена принципиальная схема ТН с емкостными делителями. Как видно из рисунка, такой ТН состоит из конденсаторов (связи, отбора), высокочастотного заградителя, реактора, понижающего трансформатора и разъединителя. У всех перечисленных элементов при провер-

Рис. 148. Принципиальная схема трансформаторов напряжения с емкостным делителем (НДЕ):

$C1$ — конденсаторы связи;
 $C2$ — конденсаторы отбора мощности;
 $З$ — высокочастотный заградитель;
 LR — реактор;
 T — понижающий трансформатор;
 $BЧ$ — аппаратура связи;
 QS — разъединитель



ке измеряется мегаомметром сопротивление изоляции, у конденсаторов — $\operatorname{tg} \delta$ и C , у остальных элементов — сопротивление постоянному току, и у трансформатора — дополнительно ток холостого тока и коэффициент трансформации.

6. АППАРАТУРА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ

Проверка и испытания изоляторов и вводов

Подвесные и опорные изоляторы внимательно осматриваются, при этом проверяется целостность фарфора, арматуры, глазури, исправность армировки и влагостойкого покрытия. В соответствии с требованиями Норм мегаомметром 2500 В измеряется сопротивление изоляции, которое должно быть у каждого элемента не менее 300 МОм. Если сопротивление изоляции не удовлетворяет этому требованию, но при внешнем осмотре не замечено никаких дефектов, изоляторы или вводы тщательно протираются и при необходимости промываются, и измерения повторяются. Если и в этом случае результаты неудовлетворительные, такой изолятор или ввод бракуется. При удовлетворительных результатах одноэлементные изоляторы подвергаются испытанию повышенным напряжением промышленной частоты следующих значений:

Номинальное напряжение установки, кВ	3	6	10	15	20	35
Испытательное напряжение кВ, с изоляцией:						
нормальной	24	32	42	55	65	95
облегченной	14	21	32	48	—	—

Каждый элемент многоэлементных опорных изоляторов и подвесной изоляции испытывается напряжением 50 кВ. В обоих случаях продолжительность испытания 1 мин.

Стеклянные подвесные изоляторы электрическим испытаниям не подвергаются, так как их дефекты легко обнаруживаются наружным осмотром.

Вводы и проходные изоляторы также внимательно осматриваются. Кроме перечисленного в предыдущей проверке при осмотре обращается внимание на исправность арматуры, заземляющего проводника измерительного вывода, уровень масла в расширителе, исправность потенциометрического устройства (ПИН). Перед другими проверками и испытаниями из ввода отбирается проба масла и проверяется на электрическую прочность в стандартном маслопробойнике. Пробивное напряжение масла должно быть не менее 40 кВ для вводов класса 35—220 кВ и не менее 55 кВ для вводов класса 330—500 кВ. Далее производится измерение сопротивления изоляции мегаомметром 2500 В основного и измерительного выводов относительно фланцев. Измеренное сопротивление изоляции должно быть не менее 1000 МОм.

В сырую погоду или во влажной среде во избежание ошибочной оценки рекомендуется измерение производить с применением охранного кольца, как это показано на рис. 149.

Для измерения сопротивления изоляции измерительного вывода снимается защитный кожух и отсоединяется заземляющий проводник.

У вводов и проходных изоляторов с внутренней основной маслобарьерной, бумажно-масляной и бакелитовой изоляцией измеряют $\operatorname{tg} \delta$ по схемам рис. 150. Допускаются следующие значения $\operatorname{tg} \delta$ вводов, %:

	Не более
Мастиконаполненные 3—35 кВ	3,0
С эпоксидной твердой изоляцией 110 кВ	0,9
Бумажно-масляные 110 кВ	0,8
То же 150 кВ	0,7

То же 220—750 кВ	0,6
Маслобарьерные 110—220 кВ	2,0
То же 500 кВ	1,0

Одновременно с $\operatorname{tg} \delta$ измеряется емкость ввода между токоведущим стержнем и измерительным выводом C_1 , измерительного конденсатора C_2 и емкость между

Рис. 149. Схема измерения сопротивления изоляции ввода (изолятора), измерительный вывод и соединительная втулка заземлены:

$\mathcal{E}$ — экран-кольцо; PR — мегаомметр; B — испытуемый ввод; $ИВ$ — измерительный вывод

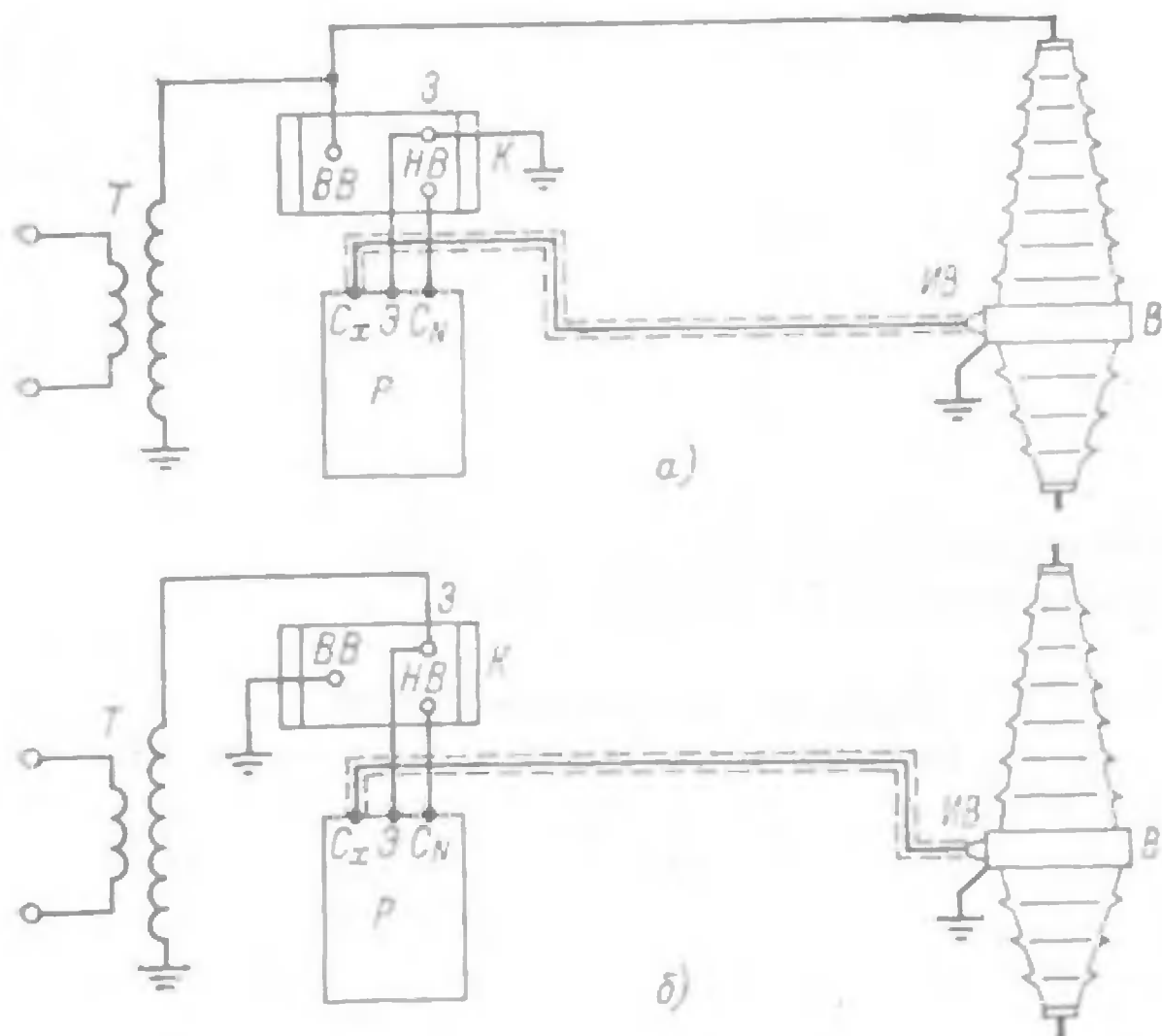
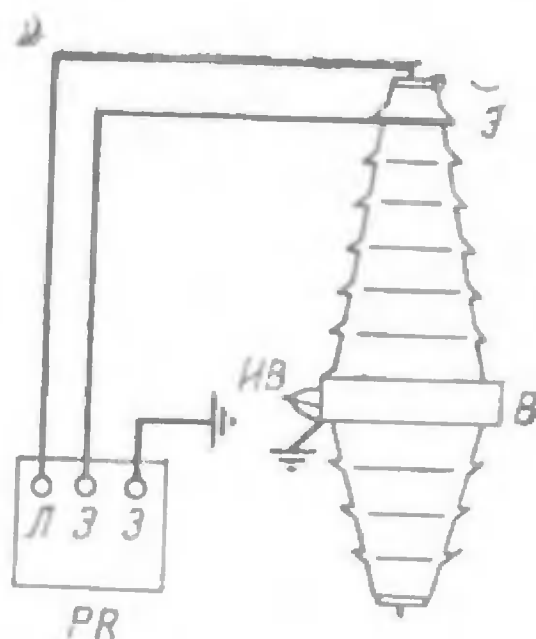


Рис. 150. Схемы измерения тангенса угла диэлектрических потерь изоляции выводов по нормальной (а) и перевернутой (б) схемам измерения:

T — испытательный трансформатор; K — эталонный конденсатор; P — мост переменного тока; B — испытуемый ввод; $ИВ$ — измерительный вывод

последней обкладкой ввода и соединительной втулкой C_3 [2].

В случае, если измеренное значение $\operatorname{tg} \delta$ превышает допустимое, ввод или проходной изолятор сушат. Если при повторном измерении после сушки $\operatorname{tg} \delta$ не изменился и значительно превышает приведенные значения, ввод или изолятор бракуют.

При удовлетворительных результатах измерений $R_{из}$ и $\operatorname{tg} \delta$ вводы и проходные изоляторы испытываются повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты по методике, изложенной в § 2. Напряжение в этом случае прикладывается к контактным выводам и заземленным соединительной втулке и измерительному выводу. Испытание производится в течение 1 мин при фарфоровой изоляции и 5 мин при органической. Значения испытательных напряжений такие же, как и в предыдущем случае.

Обычно испытание повышенным напряжением проводится не каждого аппарата в отдельности, а совместно со всей аппаратурой вводимого в эксплуатацию участка распреустройства пофазно относительно заземленных других фаз. Исключение составляют подвесные изоляторы, которые испытываются до их монтажа в целях своевременной отбраковки, чтобы исключить сложность замены после их подвески. С этой целью отдельно испытываются элементы многоэлементных колонок разъединителей в процессе их монтажа до полного окончания монтажа разъединителей в целом.

Проверка и испытания разъединителей, короткозамыкателей и отделителей

Оценка состояния разъединителей, короткозамыкателей и отделителей производится после полного окончания электромонтажных работ, включая регулировку. Измеряется сопротивление изоляции тяг из органических материалов мегаомметром 2500 В, которое должно быть не менее следующих значений:

Номинальное напряжение, кВ	3—10	15—150	220 и выше
Сопротивление изоляции, МОм	1000	3000	5000

Измеряется $R_{из}$ фарфоровых колонок, и производится их испытание повышенным напряжением так же, как

и для вводов. Аналогично проверяются изоляторы с органической изоляцией.

Измерением сопротивления постоянному току проверяется качество регулирования контактов разъединителей и отделителей на напряжение 110 кВ и выше, а также разъединителей с номинальным током 1000 А и выше всех напряжений. Измерение производится по методике, изложенной в § 2, и результат не должен превышать более чем в 1,5 раза значения, приведенные в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Сопротивление контактов разъединителей

Тип разъединителя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление контактов, мкОм
РОНЗ	500—400	2000	200
РЛН	220—35	600	220
Остальные типы	Все напряжения	1000	120
		2000	50

Для оценки правильности регулировки короткозамыкателей производится измерение времени движения подвижных частей при включении, а отделителей — при отключении. Измерение производится по схемам, приведенным на рис. 151, с помощью электрического секундомера. Время от подачи импульса до окончания операции не должно превышать значений, приведенных в заводской документации или в Нормам.

Завершающей проверкой разъединителей, короткозамыкателей и отделителей, после которой дается окончательная оценка состояния, являются многократные

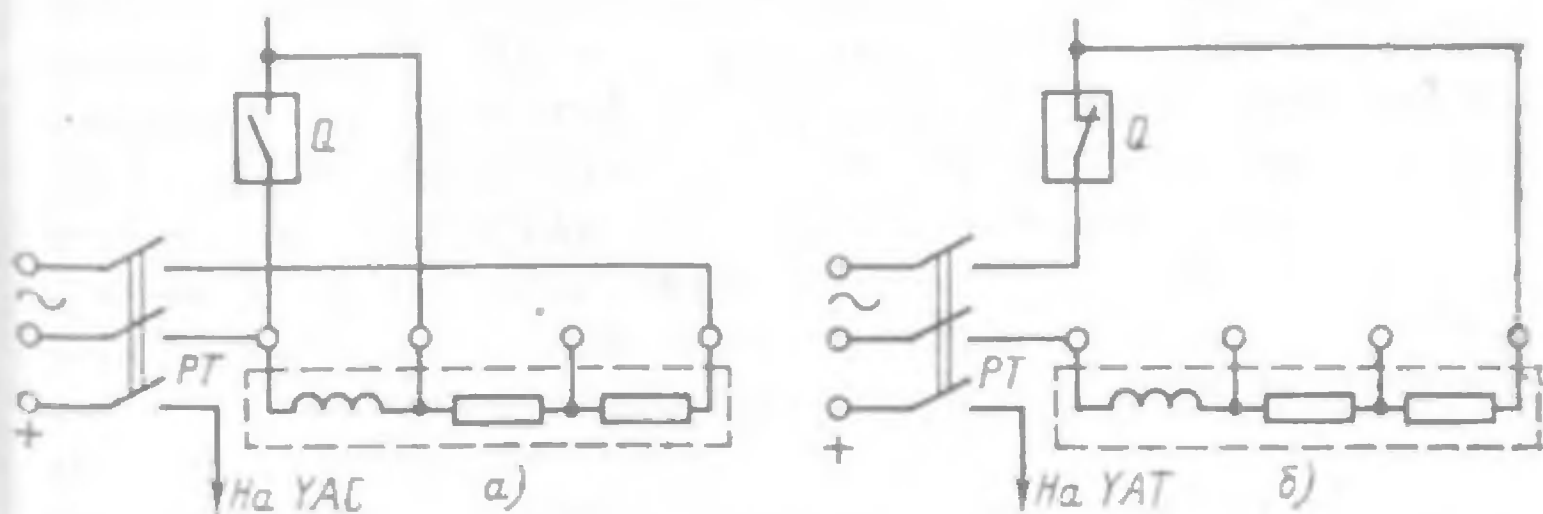


Рис. 151. Схемы измерения времени включения (а) и отключения (б) коммутационного аппарата:

PT — электросекундомер; YAT — электромагнит отключения; Q — коммутационный аппарат; YAC — электромагнит включения

включения и отключения (не менее 3—5 раз) при номинальном напряжении оперативного тока, а также при 80, 90, 110 % его значения.

Проверка и испытания вентиляных разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений

Вентильные разрядники оцениваются, главным образом, по результатам ревизии, при этом обращается особое внимание на отсутствие сколов и трещин в фарфоровых покрышках и в цементных швах, наличие защитного покрытия армировочных швов, отсутствие видимых нарушений герметичности.

Мегаомметром 2500 В измеряется сопротивление изоляции отдельных элементов и общее. $R_{из}$ разрядников типа РВП не должно быть ниже 5000 МОм. $R_{из}$ разрядников типа РВС, собираемых из отдельных элементов, которые разбиты на пять групп, не должны быть менее приведенных в табл. 4.

Таблица 4. Характеристика элементов разрядников серии РВС

Номер группы	Сопротивление, МОм, для элементов		
	РВС-33	РВС-20	РВС-15
0	480—615	240—315	160—215
1	615—810	315—415	215—285
2	810—1100	415—550	285—385
3	1100—1450	550—785	385—515
4	1450—1850	785—965	515—675
5	1850—2450	965—1265	675—885

Сопротивление изоляции разрядников других типов (РВМ, РММГ, РВМК) приводятся в [2]. У разрядников измеряются токи проводимости (утечки) на выпрямленном напряжении по схеме, приведенной на рис. 152.

Токи проводимости вентиляных разрядников зависят от напряжения источника питания, поэтому в схеме измерения предусмотрен на стороне высокого напряжения контроль выпрямленного напряжения с помощью киловольтметра типа С-196 или С-100. Контроль возможен с помощью эталонного элемента, отградуированного для данного типа разрядника. Для этого в схему измерения вместо испытуемого разрядника подключают эталонный элемент (СИ-2) и с помощью регулировочного устрой-

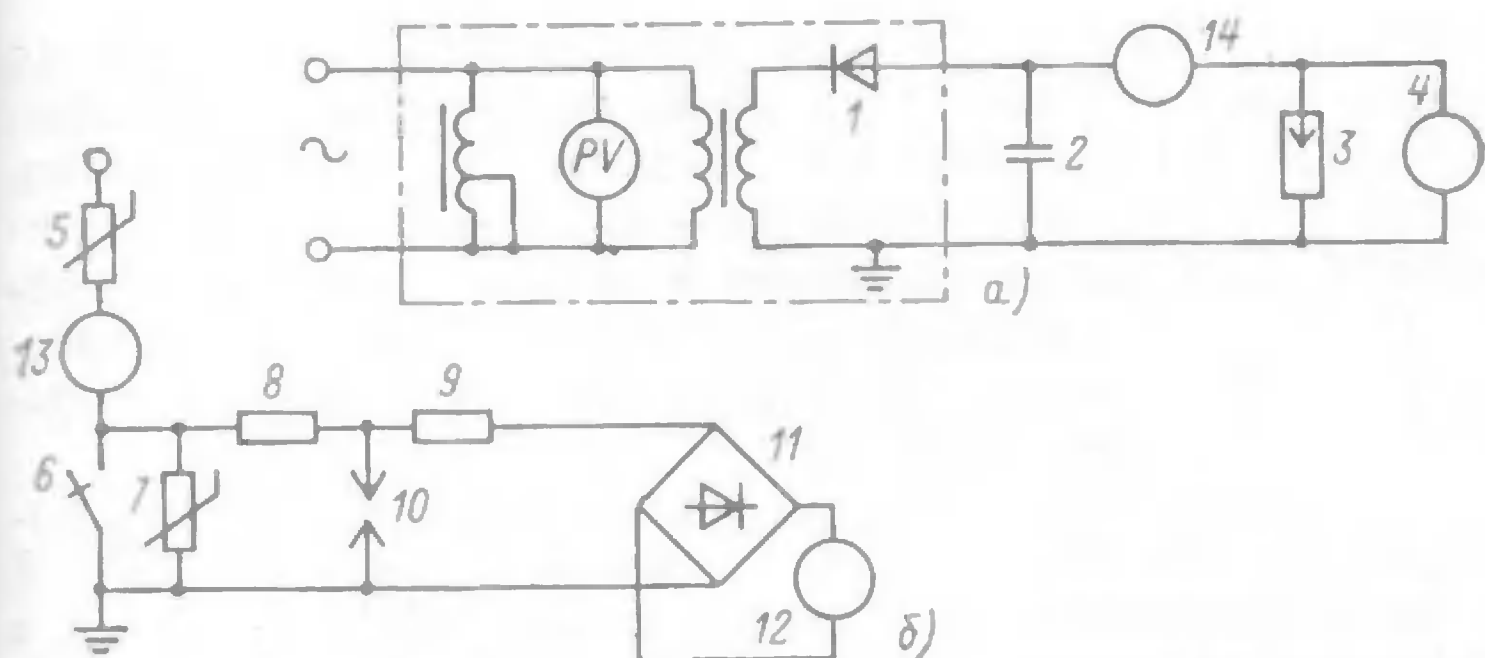


Рис. 152. Схема измерения токов проводимости вентиляных разрядников (а) и ограничителей перенапряжения (б):

1 — выпрямитель; 2 — сглаживающая емкость; 3 — разрядник; 4 — киловольтметр; 5 — ограничитель перенапряжения; 6 — рубильник; 7 — защитный резистор; 8, 9 — резисторы по 15 кОм, 2 Вт; 10 — защитный разрядник Р-350; 11 — выпрямительный мост на диодах 10 мА Д217, Д218; 12 — миллиамперметр; 13 — регистратор срабатывания; 14 — микроамперметр

ства постепенно увеличивают испытательное напряжение до значения, при котором ток проводимости равен среднему нормированному значению для данного типа разрядника. Затем в схему подключается испытуемый элемент, и при том же напряжении измеряется его ток проводимости. Если при этом этот ток соответствует нормативному значению, такой разрядник удовлетворяет требованиям. Градуирование эталонного элемента при таком методе проверки тока проводимости производится отдельно для каждого типа разрядника.

При отсутствии эталонного элемента может быть использован один из проверяемых разрядников, с которым вместо эталонного устанавливается нормированный ток проводимости, а затем по нему проверяются все остальные разрядники. Нормированные токи проводимости приводятся в [2]. Там же даны и пробивные напряжения для различных типов разрядников.

У разрядников типов РВС, РВМГ и т. п., имеющих шунтирующие резисторы, при необходимости производится измерение пробивного напряжения, устанавливаемого с помощью специальной аппаратуры (продолжительность не более 0,5 с во избежание повреждения).

Нелинейные ограничители перенапряжения (ОПН). В последнее время для защиты электрооборудования от перенапряжений вместо вентиляных разрядников при-

меняются ОПН, в которых использованы резисторы на основе оксида цинка. Они снижают уровень коммутационных перенапряжений по сравнению с разрядниками на 30—40 %, а атмосферных — на 10—20 %. ОПН присоединяются непосредственно к фазам защищаемой сети без последовательно включаемых искровых промежутков (ИП) или с параллельно включенными искровыми промежутками (ОПНИ).

Проверка ОПН заключается во внешнем осмотре, измерении сопротивления изоляции мегаомметром 2500 В и тока проводимости. Считается, что ОПН находится в удовлетворительном состоянии, если $R_{из}$ не менее 7000 МОм (при повышенной влажности измеряется с применением экрана), а измеренный ток проводимости (по схеме рис. 152, б) не превышает следующих значений:

Тип ОПН	ОПН-110	ОПН-150	ОПН-220	ОПН-330
Ток, мА	1,5	1,5	1,8	3

Испытательное напряжение для ОПН-110 составляет 73 кВ, для остальных типов 75—100 кВ. Ток проводимости ограничителей типов ОПН-500 и ОПНИ-500 не должен превышать 0,5—0,8 мА при напряжении 75 кВ и 1 мА при напряжении 100 кВ. Кроме того, при приложении к промежуточному выводу ОПНИ-500 напряжения 50 кВ ток проводимости не должен превышать 2,8—3,2 мА, а при приложении 50 кВ к искровому элементу — 0,6—0,75 мА.

Изолирующий вывод ограничителей ОПН-330, ОПН-500 и ОПНИ-500 при оценке состояния их испытывается напряжением 10 кВ при плавном подъеме напряжения в течение 0,5—2 с.

Проверка и испытания сухих реакторов

В соответствии с требованиями гл. 15 Норм у сухих реакторов при оценке их состояния производится проверка правильности их установки, измерение сопротивления изоляции обмоток и испытание их повышенным напряжением.

Правильность установки проверяется по обозначениям, которые выносятся в паспорт реакторов заводом: У — ступенчатое расположение; Н — нижняя фаза при вертикальном расположении их; С — средняя фаза при

вертикальном расположении фаз; В — верхняя фаза при вертикальном расположении фаз; Г — горизонтальное расположение.

При вертикальной установке реакторов обращается внимание на то, чтобы витки были направлены таким образом, чтобы ток в средней фазе был противоположен току в верхней и нижней фазах. Измерение сопротивления изоляции производится мегаомметром 1000—2500 В относительно крепежных болтов и фланцев всех опорных изоляторов, на которых установлены колонки реактора. Сопротивление должно быть не менее 0,5 МОм, в противном случае колонки высушиваются, покрываются лаком и после этого вновь подвергаются проверке мегаомметром.

При удовлетворительных результатах проверки изоляция испытывается повышенным напряжением переменного тока в течение 1 мин. Значения испытательных напряжений аналогичны приведенным выше для изоляторов и вводов. Реактор считается выдержавшим испытание, если во время его проведения не наблюдалось каких-либо разрядов и отсутствовали местные нагревы.

Кроме перечисленных производится визуальная проверка наличия заземлений нижних фланцев всех опорных изоляторов реактора.

Оценка состояния токопроводов

Состояние токопровода оценивается по результатам проверки в процессе монтажа и после его окончания.

Перед монтажом рекомендуется испытать изоляцию каждой секции, из которых обычно состоит токопровод, повышенным напряжением и проверить состояние изолирующих прокладок опорных конструкций. Изолирующие прокладки внимательно просматриваются для выявления и замены дефектных, т. е. имеющих сколы, трещины, расслоения и т. п., после чего вся изоляция должна быть тщательно очищена от грязи, пыли, краски и т. д. После такой подготовки производится измерение ее сопротивления мегаомметром. Сопротивление изоляции прокладок проверяется мегаомметром 1000 В по схеме, приведенной на рис. 153. Как видно из рисунка, для измерения один проводник от мегаомметра присоединяется к металлической пластине, расположенной между изоляционными прокладками, а второй проводник —

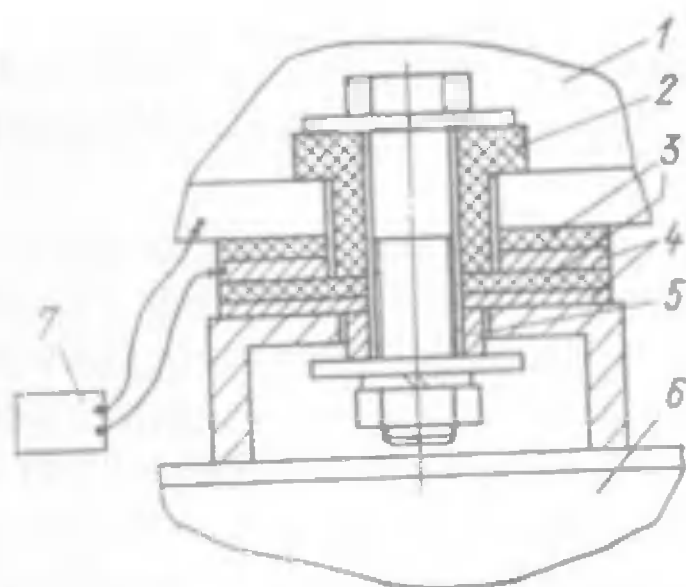


Рис. 153. Схема измерения сопротивления изоляционных прокладок токопровода:

1 — лапа опоры; 2 — изоляционная втулка; 3 — изоляционная прокладка; 4 — стальная прокладка; 5 — металлическая втулка; 6 — поперечная балка; 7 — мегаомметр

к станине секции или к металлической опорной конструкции (стулу).

Мегаомметром 500—1000 В проверяется также состояние уплотнений кожухов. Сопротивление их изоляции и изоляции прокладок может считаться удовлетворительным, если оно составляет не менее 0,01 МОм. Перед испытанием опорной изоляции токопровода рекомендуется измерить сопротивление изоляции всех соединенных между собой секций пофазно. Если при этом сопротивление изоляции фаз отличается друг от друга более чем в 3 раза, снова повторяют измерения сопротивления изоляции по отдельным элементам фазы с наименьшей изоляцией в целях выявления и устранения дефекта, снижающего общую изоляцию по этой фазе.

Только после проведения описанной подготовительной работы токопровод подвергается испытанию повышенным напряжением переменного тока. Каждая фаза целиком смонтированного токопровода испытывается по отношению к двум другим заземленным, при этом токопровод отсоединяется от обмоток генератора и трансформатора и последние надежно заземляются во избежание попадания на них напряжения при испытании. Значение испытательного напряжения такое же, как и при испытании изоляторов.

Иногда в новых токопроводах не удастся обнаружить дефектные изоляторы описанными способами, и по этой причине бывает невозможно поднять напряжение на токопроводе при его испытании до требуемого значения. Это имеет место особенно при длинных и мощных токопроводах, у которых вообще выявление дефектных изоляторов очень трудоемко. В этих случаях при наличии испытательной установки достаточной мощности (100—

300 кВ·А, 30—50 кВ) дефектные изоляторы можно выявить многократным подъемом напряжения (переменного тока) до значения 15—30 кВ, последующим отключением его и ощупыванием всех изоляторов на нагрев. Время выдерживания напряжения при каждом подъеме равно 10—15 мин. Если и в этом случае не удастся выявить наиболее нагретые изоляторы, что является признаком дефекта в них, напряжение при каждом подъеме выдерживается в течение 30—60 мин. Выявленные таким образом изоляторы заменяются, и испытание повышенным напряжением повторяется.

Сокращение времени обнаружения дефектных изоляторов может быть достигнуто применением импульсного метода, схема которого представлена на рис. 154.

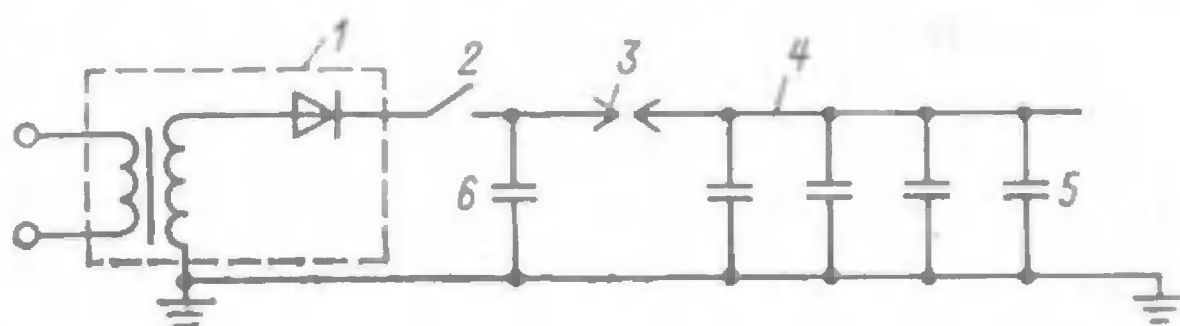


Рис. 154. Схема выявления дефектных изоляторов токопровода:

1 — выпрямительное устройство высокого напряжения; 2 — переключатель; 3 — искровой промежуток; 4 — токопровод; 5 — изоляторы; 6 — зарядный конденсатор

В схеме используются конденсаторная установка большой мощности (5 мкФ) и напряжения не менее 25—30 кВ. Метод заключается в зарядке установки при напряжении 25—30 кВ и последующей разрядке на испытываемую фазу токопровода. Дефектный изолятор при разрядке должен разрушиться. Если их несколько, то для выявления всех требуется многократное повторение зарядки и разрядки до тех пор, пока процесс разрушения не прекратится. После замены всех дефектных изоляторов токопровод вновь испытывается обычным способом напряжениями, приведенными выше.

Токопровод считается выдержавшим испытание повышенным напряжением, если при этом не произошло пробоя или перекрытия изоляторов. Перемежающиеся перекрытия голубоватого свечения по поверхности отдельных изоляторов не являются основанием для браковки их, так как они могут иметь место из-за искажения кривой напряжения, питающего испытательную установку.

Проверка и испытания комплектных распределительных устройств

Объем проверки и испытаний комплектных распределительных устройств (КРУ), требующихся для оценки их состояния, определяется тем оборудованием, которое в них используется. Кроме того, в КРУ в целом проверяется общее состояние изоляции измерением $R_{из}$ элементов из органических материалов мегаомметром 2500 В, которое должно быть не менее 100 МОм для КРУ 6—10 кВ и 3000 МОм для КРУ 15—150 кВ. Также измеряется $R_{из}$ каждого присоединения вторичных цепей со всей присоединенной аппаратурой, приборами и реле.

После проверки изоляции измерением ее сопротивления $R_{из}$ производится испытание всей изоляции первичных цепей напряжением переменного тока, значения которых приведены § 6, в течение 1 мин. Изоляция, выполненная не из фарфора, а из других видов материалов, испытывается повышенным напряжением следующих значений:

Класс напряжения, кВ	3	6	11	15	20	24	27	37
Испытательное напряжение, кВ	21,6	28,8	37,6	49,5	58,5	72	85,5	

Изоляция вторичных цепей КРУ испытывается по методике и нормам, изложенным в § 2.

При испытаниях КРУ повышенным напряжением от них должны быть отсоединены все силовые кабели. Ячейки должны быть полностью смонтированы и вдвинуты, трансформаторы напряжения и вентильные разрядники — отключены. Если изоляция имеет элементы из твердых органических материалов, то время приложения напряжения при испытаниях увеличивается до 5 мин.

В КРУ с выключателями типа МГ испытывается также изоляция контактного промежутка.

При отсутствии испытательной установки переменного тока допускается испытывать изоляцию КРУ повышенным напряжением выпрямленного тока. В этом случае испытательное напряжение должно быть равно амплитудному значению испытательного напряжения частотой 50 Гц, т. е. $U_{исп.выпр} = \sqrt{2} U_{исп.д.}$

Все испытания повышенным напряжением производятся пофазно при заземленных других фазах.

Для возможности включения КРУ в работу кроме оборудования и изоляции должны быть проверены, опробованы и настроены все устройства вторичных цепей — релейные защиты, устройства управления, сигнализации, измерений и блокировочные устройства.

Проверка и испытания бумажно-масляных конденсаторов

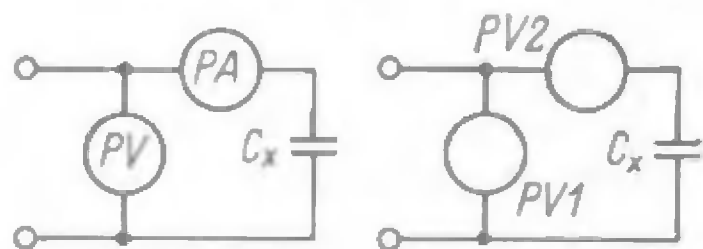
Силовые конденсаторы широко применяются для повышения коэффициента мощности, для осуществления отбора мощности и для создания высокочастотных каналов, используемых для связи, релейных защит и автоматических устройств. Конструктивные особенности конденсаторов определяют объем и методы их проверки, регламентируемые Нормами.

Мегаомметром 2500 В производится измерение сопротивления изоляции относительно корпуса и между выводами, а также коэффициент абсорбции $K_{абс}$. Нормами не регламентируемые.

Мостами переменного тока типов Р-5026, Р-525, Р-595, МДП или других измеряется емкость. Возможно измерение емкости и методом амперметра—вольтметра по схеме рис. 155 при напряжении 110—220 В переменного

Рис. 155. Схемы измерения емкости:

C_x — испытуемая емкость; PV — вольтметр; PA — амперметр



тока. В последнем случае емкость C_x , мкФ, подсчитывается по формуле

$$C_x = \frac{I \cdot 10^6}{\omega U},$$

где I — измеренный ток, А; U — напряжение, В, на конденсаторе при частоте $f=50$ Гц ($\omega=314$ 1/с).

Емкость трехфазного конденсатора определяется расчетом по данным трех измерений между каждой парой закороченных выводов и третьим выводом, произведенных в последовательности, приведенной табл. 5.

Таблица 5. Последовательность измерений емкости

Обозначение вывода	Обозначение измеренной емкости	Выводы, между которыми измеряется емкость
1	C_1	1—2,3
2	C_2	2—1,3
3	C_3	3—1,2

Полная емкость трехфазного конденсатора определяется как полусумма всех трех измеренных емкостей:

$$C = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{2}.$$

При измерении емкости мостами одновременно с измерением $\operatorname{tg} \delta$, что также необходимо согласно требованиям Норм, емкость подсчитывается по формуле

$$C_x = \frac{C_N (100 + R_3) R_4}{n (R_3 + \rho)}.$$

где R_3 , R_4 , n , ρ — параметры моста при балансировке его; C_N — емкость нормального (образцового) конденсатора.

Допустимые отклонения измеренной или полученной расчетом емкости для конденсаторов связи, отбора мощности и делителей напряжения составляют $\pm 5\%$, для конденсаторов продольной компенсации — от $+5$ до -10% .

Измерение $\operatorname{tg} \delta$ не должно производиться на напряжении, превышающем номинальное напряжение конденсатора. Значение $\operatorname{tg} \delta$ конденсатора, измеренное при температуре 20°C или приведенное к этой температуре, у новых конденсаторов связи, отборов мощности и делителей напряжения не должно превышать $0,3\%$. Измерение $\operatorname{tg} \delta$ у силовых конденсаторов обычно не производится.

Завершающей проверкой конденсаторов является испытание их повышенным напряжением промышленной частоты в течение 1 мин. Значения напряжений, при которых производятся испытания, указываются в паспортах на конденсаторы. Контроль напряжения рекомендуется производить на высокой стороне с помощью статического киловольтметра. При отсутствии установки достаточной мощности испытание повышенным напряжением может производиться выпрямленным напряже-

нием удвоенного по отношению к переменному напряжению значения. Изоляция фарфоровых подставок для конденсаторов испытывается трехкратным включением на номинальное напряжение.

Конденсаторы, имеющие один вывод, соединенный с корпусом, испытанию повышенным напряжением не подлежат.

Перед включением конденсатора в работу он проверяется мегаомметром, проверяется также цепь разряда и заземления. При включении измеряют токи во всех фазах. Они не должны различаться более чем на 5 %. Перед включением конденсатор должен быть разряжен на «землю» с помощью заземляющей штанги.

Проверка и испытания масляных выключателей

Как известно из гл. 1, масляный выключатель является коммутационным аппаратом, имеющим контактную систему, дугогасительную систему и привод. Этими конструктивными особенностями и определяются проверки и испытания, которые требуются для оценки состояния его и возможности включения в работу.

Проверка выключателя начинается еще на стадии монтажа, когда монтажным персоналом проверяется одновременность замыкания и размыкания контактов, измеряется ход подвижной системы, вжим и ход контактов при включении.

До заливки маслом измеряется $R_{из}$ подвижных частей выключателя, а также направляющих, выполненных из органических материалов, баковой изоляции, изоляции крепежных шпилек и дугогасительных устройств. Измерение производится при отключенном выключателе мегаомметром, подключаемым для этого одним проводом к траверсе, а другим к баку. После заливки измеряется $R_{из}$ подвижных частей при включенном положении выключателя. Измерения производятся мегаомметром 2500 В.

В обоих случаях $R_{из}$ должно быть не менее 1000 МОм у выключателей с номинальным напряжением до 10 кВ, не менее 3000 МОм у выключателей от 15 до 150 кВ, не менее 5000 МОм у выключателей напряжением 220 кВ и выше.

Баковая изоляция проверяется отдельно до заливки выключателя накладыванием временных электродов в

верхней и нижней частях изоляции и подсоединением мегаомметра к ним.

Если результаты измерений после заливки не удовлетворяют требованиям Норм, измеряется $R_{из}$ при отключенном выключателе и замкнутых накоротко вводах по вышеуказанной схеме и при включенном выключателе. $R_{из}$ подвижных частей определится из выражения

$$R_{из} = \frac{R_{из.вкл} R_{из.откл}}{R_{из.откл} - R_{из.вкл}},$$

где $R_{из.вкл}$, $R_{из.откл}$ — сопротивления изоляции соответственно включенного и отключенного выключателя, МОм.

Если последний результат тоже не удовлетворяет нормативным требованиям, выключатель должен быть подвергнут сушке, после чего все вышеописанные измерения повторяются.

Мегаомметром 1000 В измеряется сопротивление изоляции вторичных цепей привода выключателя, которое не должно быть ниже 1 МОм. В противном случае привод сушится.

После установки вводов, которые должны быть проверены отдельно до их установки, измеряется $\operatorname{tg} \delta$ изоляции полностью собранного выключателя мостами Р-595 или Р-5026 по перевернутой схеме. В случае, если измеренный $\operatorname{tg} \delta$ превышает допустимое значение, сливается масло из выключателя, чем исключается влияние на результат измерения внутрибаковой изоляции, и $\operatorname{tg} \delta$ измеряется вновь. Уменьшение $\operatorname{tg} \delta$ в этом случае более чем на 4 % указывает на то, что внутрибаковая изоляция в процессе монтажных работ была недосушена или увлажнилась вновь.

После повторной сушки, проверки внутрибаковой изоляции и повторной заливки маслом производится повторная проверка изоляции выключателя мегаомметром и измерением $\operatorname{tg} \delta$ в выключенном и включенном положениях. Результаты измерений считаются удовлетворительными, если в обоих положениях они одинаковы.

Для окончательной оценки состояния изоляции последняя у выключателей напряжением 35 кВ и ниже подвергается испытанию повышенным напряжением промышленной частоты в течение 1 мин. Выключатели напряжением выше 35 кВ не испытываются.

Испытательное напряжение подается на оба ввода

каждой фазы при выключенном выключателе, чтобы одновременно испытывались и контактные разрывы.

Значения испытательных напряжений следующие:

Номинальное напряжение выключателя, кВ	3	6	10	15	20	24	27	35
Испытательное напряжение для нормальной изоляции, кВ	22	29	38	49	58	63	72	85

Изоляция вторичных цепей и обмоток привода испытывается напряжением 1 кВ в течение 1 мин.

Состояние контактной системы выключателя, ее регулировки в процессе монтажа оценивается по результатам измерения сопротивления постоянному току. Измерение производится пофазно у каждой пары рабочих контактов выключателя по схеме, приведенной на рис. 156, микроомметром, двойным мостом или методом амперметра — вольтметра. Полученные при измерении результаты не должны превышать значений, приведенных в табл. 6.

Если результаты измерения превышают приведенные в табл. 6 значения, производятся ревизия контактов и повторные измерения.

Кроме сопротивления контактов измеряются и сопротивление постоянному току резисторов дугогаси-

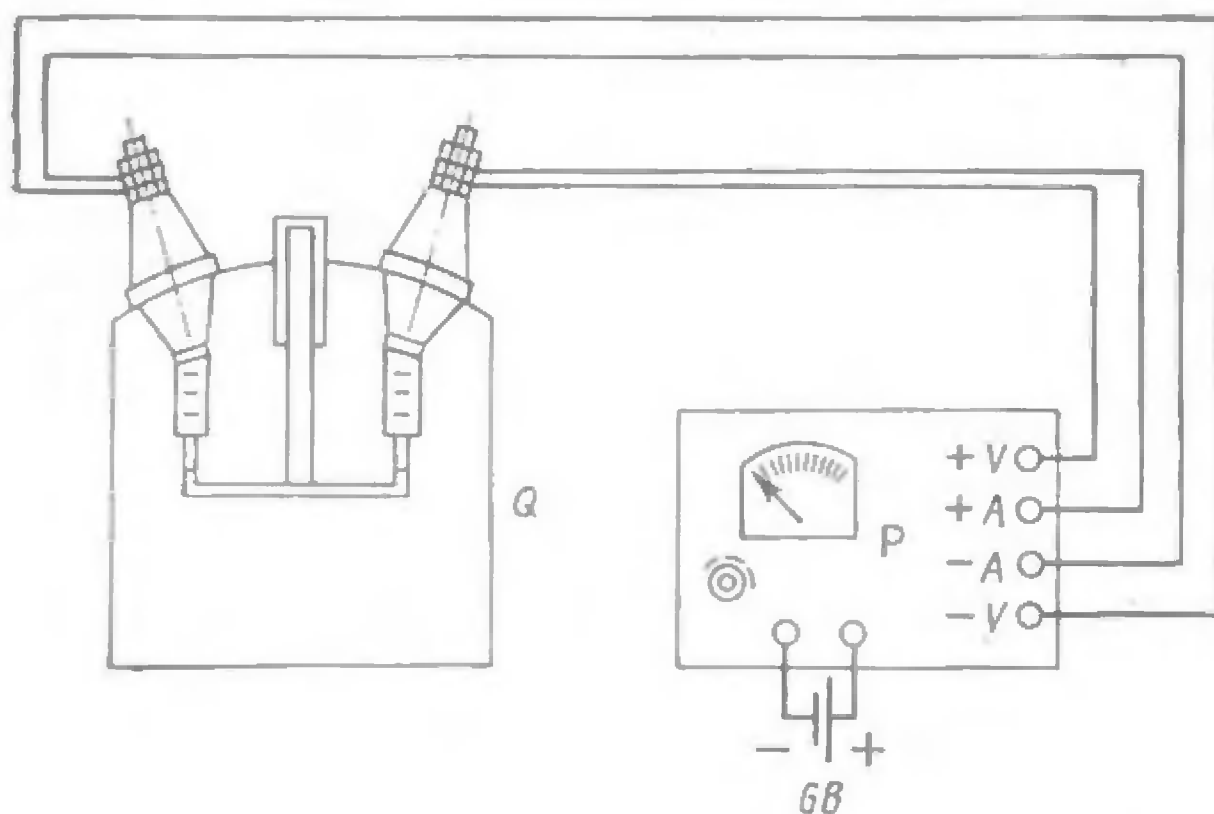


Рис. 156. Схема измерения сопротивления постоянному току контактной системы выключателя:

Q — масляный выключатель; P — измерительный мост; GB — источник питания

Т а б л и ц а 6. Сопротивление постоянному току токоведущего контура масляных выключателей

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление контактов фазы выключателя, мКОМ
ВМП-10, ВМП-10К	10	600 1000 1500 5000	55 40 30 15; 300*
ВЭМ-6, ВЭМ-10	6—10	2000 3200	45 45
М-10	10	5000	10; 300*
МГГ-10	6—10	2000 3000	30 20
Остальные типы	3—10	200 600 1000 2000	350 150 100 75
МГ-20	20	6000	15; 300*
МГГ-20	20	2000 3000	30; 250* 20; 250*
ВМ-35, ВБ-35, ВМД-35	35	600	550
С-35	35	630 3200	310; 9**
ВМТ-110	110	1000	130
МКП-110:			
с киритовыми пластинами	110	600	1600; 540**
без киритовых пластин	110	600	1100
ВМ-125	110	600	500
ВМТ-220	220	1000	130
МКП-220	220	600	1200; 260**
У-220-10	220	600	1400; 600**
МКП-500	500	1500	2350; 350***; 500***

* Дугогасительные контакты.

** Одна камера.

*** Подвижные контакты.

тельных устройств, которые в нормальном случае не должны отличаться от заводских данных более чем на 3 %. Аналогичные требования предъявляются к сопротивлениям обмоток электромагнитов включения и отключения.

Главной проверкой для оценки качества регулирования монтажным персоналом масляных выключателей и привода является измерение скоростей включения и от-

ключения выключателей. Проверка скоростей производится при полностью залитом маслом выключателе и температуре окружающей среды не ниже 10°C при номинальном напряжении оперативного тока на зажимах обмоток электромагнитов включения и отключения, а также при $0,8 U_{\text{ном}}$ на зажимах электромагнитов включения и $0,65 U_{\text{ном}}$ на зажимах электромагнитов отключения.

Измерения производятся с помощью вибрографа, укрепляемого на период измерений напротив штанги или штока, как показано на рис. 157. На самих штоках или

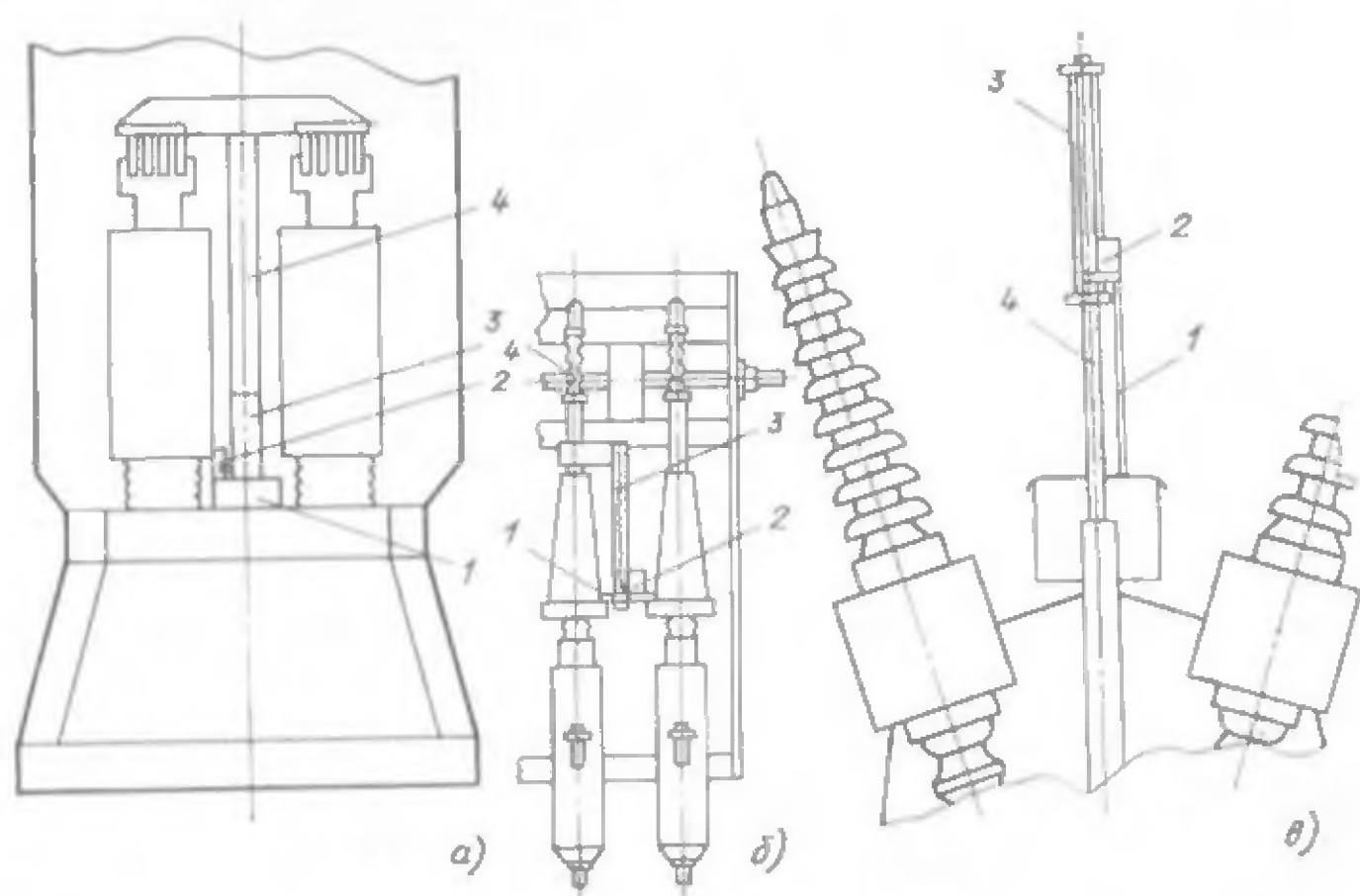


Рис. 157. Установка вибрографа на выключателях типов МГГ (а), ВМГ (а) и МКП (в):

1 — подставка; 2 — виброграф; 3 — лента; 4 — щиток (штанга)

штангах закрепляется бумага, на которой при движении их производится запись (рис. 158).

Виброграф представляет собой электромагнит с пишущим устройством на конце якоря. При питании электромагнита переменным напряжением частотой 50 Гц якорь его колеблется с той же частотой вместе с пишущим устройством, при этом, если виброграф укреплен, а напротив движется лента, или наоборот, как в рассматриваемом нами случае, на ленте описывается периодическая кривая, соответствующая скорости движения подвижного элемента проверяемого устройства (вибrogramма).

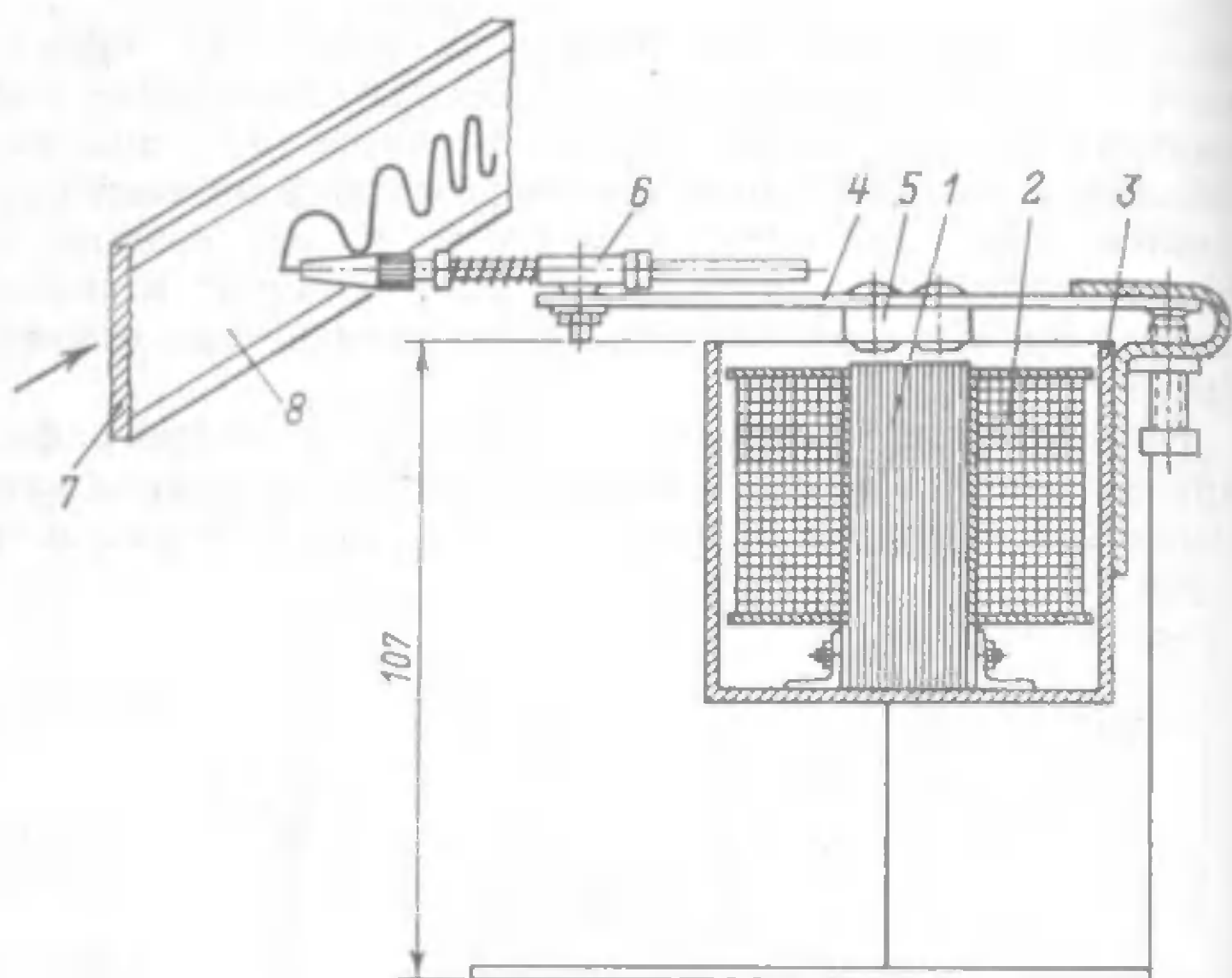


Рис. 158. Виброграф:

1 — электромагнит; 2 — обмотка электромагнита; 3 — корпус; 4 — пружина; 5 — якорь; 6 — пишущее устройство; 7 — планка; 8 — бумажная лента

Пример виброграммы и ее расшифровка приведены на рис. 159.

При расшифровке виброграмма разбивается на ряд участков, длина которых в каждом случае зависит от длины виброграммы (хода штока или другой конструкции подвижной системы), но во всех случаях разбивка на участки должна быть такой, чтобы получить наибольшую точность измерений в характерных точках, т. е. для моментов замыкания или размыкания контактов выключателя и при выходе их из гасительной камеры.

На основании виброграммы строятся кривые скоростей. Для этого точной линейкой или штангенциркулем измеряется длина каждого участка, и по числу периодов колебаний на этом участке определяется время движения штанги или штока. По нижеприведенной формуле определяется средняя скорость, м/с:

$$V_{\text{ср}} = L_{\text{уч}}/t,$$

где $L_{\text{уч}}$ — длина участка, м; t — время движения штанги или штока.

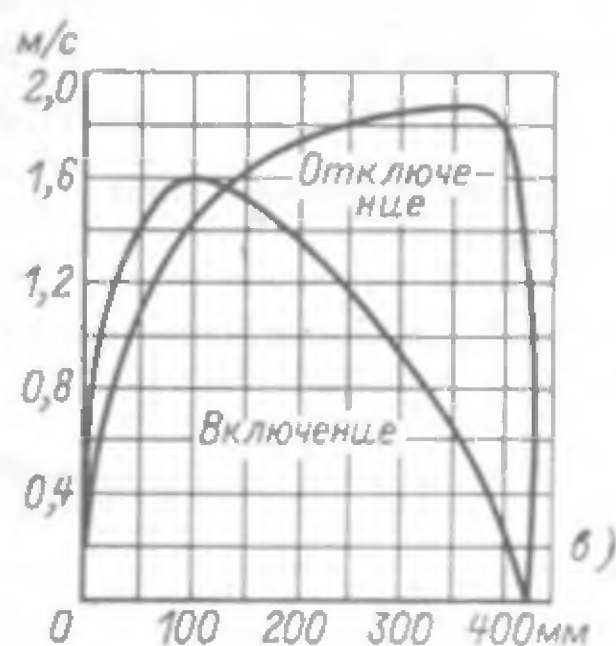
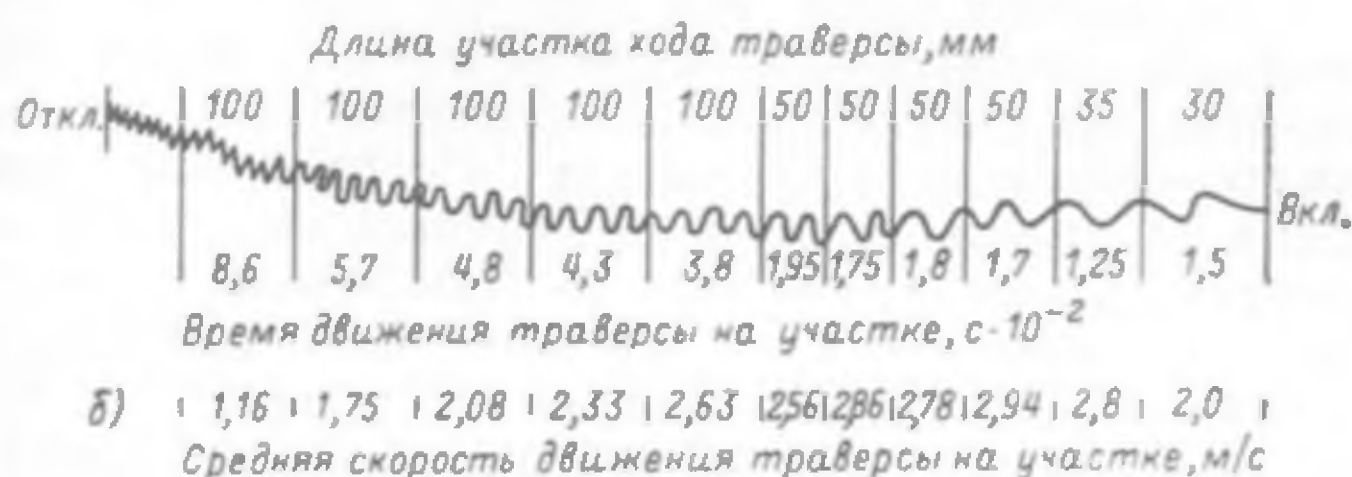
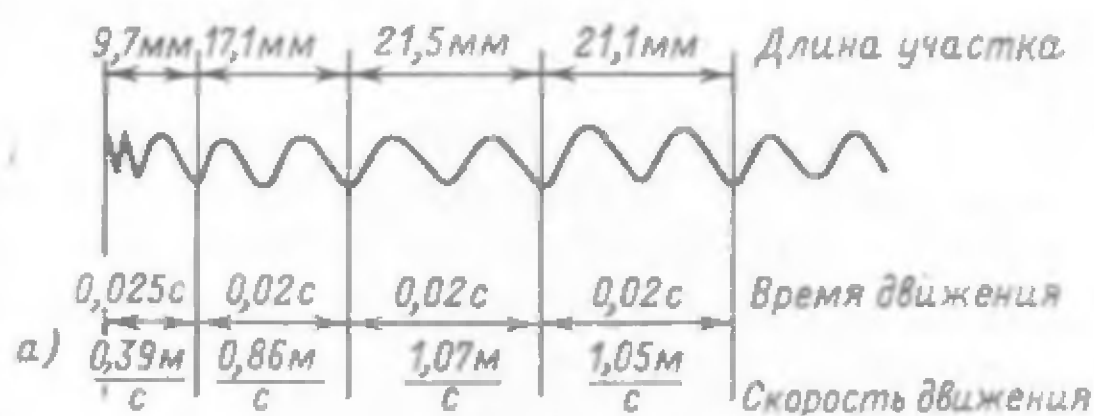


Рис. 159. Пример виброграммы выключателя:

а — обработка виброграммы; б — определение средней скорости на отдельных участках; в — пример кривой скорости движения траверсы выключателя

Полученные таким образом значения средней скорости на каждом участке относятся к их серединам (рис. 159, б), и по ним строится кривая зависимости скорости движения подвижной части выключателя (штанги, штока, траверсы) от ее пути (рис. 159, в):

$$V_{\text{ср}} = f(L).$$

Для всех кривых рекомендуется совмещать с началом координат положение «включено».

Регулировка выключателя считается удовлетворительной, если полученные скорости не отличаются от приведенных в заводских протоколах или при их отсутствии от приведенных в Нормах более чем на 15 %. В про-

тивном случае требуется повторная регулировка и после этого повторная проверка.

Для окончательной оценки работы выключателя и его привода производится измерение времени движения подвижных частей выключателя по схемам, приведенным на рис. 151. Для отсчета времени применяется электрический секундомер, миллисекундомер или осциллограф, для проверки быстродействующих выключателей — миллисекундомер или осциллограф. При этом измеряются собственное время включения от момента подачи импульса напряжения на включение до начала замыкания контактов выключателя и собственное время отключения от момента подачи импульса на отключение до начала размыкания контактов. Измеренные значения не должны отличаться от заводских или нормативных более чем на 10 %. Временные и скоростные характеристики наиболее употребительных выключателей (масляных) приведены в табл. 7.

Для полной проверки привода опробуется механизм свободного расцепления при включенном положении привода, в двух-трех положениях промежуточных и на гра-

Таблица 7. Скоростные и временные характеристики масляных выключателей

Тип выключателя	Максимальная скорость движения контактов, м/с	Время, с. от подачи импульса до момента	
		замыкания контактов	размыкания контактов
МКП-500, ШПЭ-504, привод	3,7/4,0	1,5±0,1	0,04—0,05
МКП-220, У-220-10, привод ШПЭ-44	4,4/3,6	0,7—0,8	0,04—0,05; 0,06—0,08
ВМТ-110, ВМТ-220, привод ППР	9,0/8,5	0,2	0,05
ВМК-110, ВМК-110В	7,9/5,3	0,18	0,05
С-35, привод ПЭ-31	3,0/1,8	0,26—0,6	0,07—0,055
ВМ-35, ВМП-35, ВБ-35, привод ПС-10	1,7/2,0	—	—
МГ-20, привод ПС-31	2,1/2,0	0,65	0,14
МГ-10, привод ПС-10	2,5/2,0	0,53	0,12
МГГ-10, привод ПЭ-1	1,7/3,0	0,14	0,11
ВМГ-133, привод ПС-10	2,8/3,0	0,23	0,1
ВМП-10, ВМП-10К, привод ПЭ-11	4,5/4,2	0,3	0,1
МКП-110, ВТ-125	—	0,5—0,6	0,04—0,05
У-110-8	—	0,7—0,8	0,05—0,06

нице зоны действия свободного расцепления (в последнем случае при медленном доведении выключателя рычагом или домкратом). В соответствии с требованиями Норм у выключателя для оценки его состояния проверяется также минимальное напряжение срабатывания привода, которое должно быть не менее 0,35 номинального при отключении, напряжение надежной работы, которое должно быть не более 0,65 номинального напряжения, напряжение надежного включения контактора включения, которое должно быть не более 0,8 номинального. Проверка напряжений срабатывания производится пофазно у выключателей с пофазными приводами. За напряжение срабатывания у выключателей с пофазным приводом и последовательным соединением обмоток отключения и включения за напряжение срабатывания принимается минимальное напряжение, при котором надежно срабатывают одновременно все обмотки.

Завершающей проверкой, после которой делается окончательное заключение о состоянии выключателя, является испытание его многократным включением и отключением, проводимое при напряжениях на зажимах привода в момент включения 1,1; 1,0; 0,9; 0,8 номинального. При каждом значении напряжения выключатель опробуется 3—5 раз на включение и отключение и 2—3 раза в циклах отключение—включение—отключение (О—В—О) автоматического повторного включения.

Особенности проверки воздушных выключателей

Особенностью проверки воздушного выключателя для оценки его состояния является проверка соответствия заводским данным [2] основных характеристик его, к которым относятся времена различных отдельных операций — отключение (О), включение (В), циклов операций В—О, О—В, АПВ, бестоковых пауз, расход воздуха при давлении номинальном, максимальном, минимальном, падение давления при различных операциях, утечки воздуха, длительность пульсов отключения и включения и т. д.

Параметры выключателей, характеризующие состояние их и регламентированные заводом и Нормами, проверяются при многократных опробованиях и осциллографировании процессов операций. Одновременно производится регулирование расхода воздуха, сброса давления и работы сигнально-блокировочных контактов.

Все операции производятся с помощью пультов дистанционного управления, которые разрабатываются и изготавливаются в наладочных организациях.

На рис. 160 показаны примеры осциллограмм работы контактов воздушного выключателя с воздухомонапол-

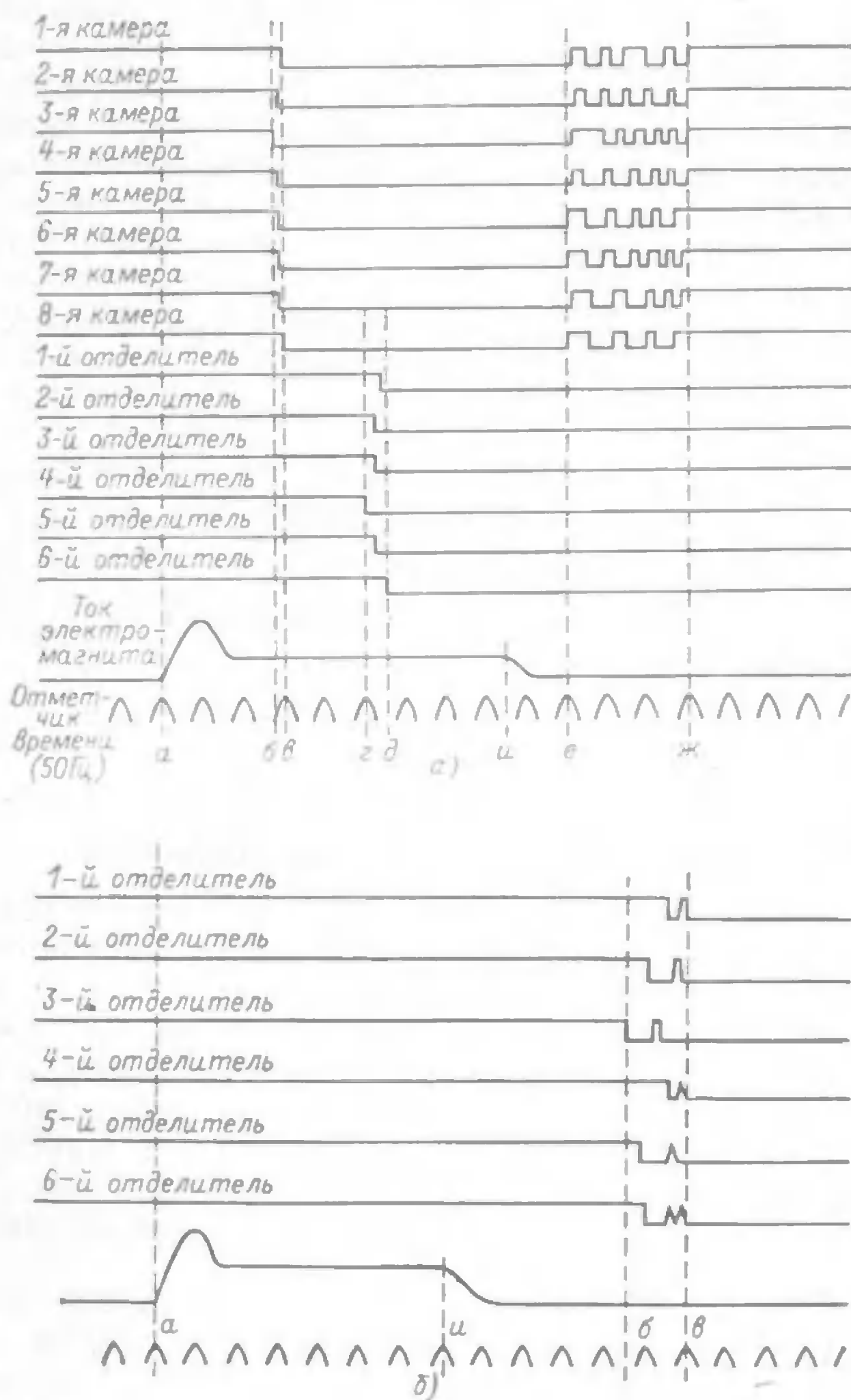


Рис. 160. Примеры осциллограммы работы контактов воздушного выключателя с воздухомонаполненным отделителем при операциях отключения (а) и включения (б)

ненным отделителем при операциях «Отключение» и «Включение». Расшифровываются они следующим образом.

Участок *аб* на рис. 160, *а* определяет собственное время отключения, участок *бв* — разновременность замыкания контактов камер, участок *вг* — опережение размыкания контактов камер, участок *гд* — разновременность размыкания контактов отделителей, участок *ве* — бесконтактную паузу камер при отключении, участок *еж* — разновременность замыкания контактов камер, участок *аи* — длительность отключающего импульса.

Участок *аб* на рис. 160, *б* определяет время включения, участок *аи* — длительность включающего импульса.

Кроме перечисленных проверок производится измерение $R_{из}$, сопротивления постоянному току контактов, катушек электромагнитов управления, шунтирующих резисторов и активных делителей напряжения, испытание изоляции повышенным напряжением методами, описанными выше для коммутационной аппаратуры.

Проверка воздушных выключателей завершается проверкой работы их в циклах, указанных в табл. 8.

Таблица 8. Наименование циклов и количество операций при многократном опробовании воздушных выключателей

Наименование циклов	Давление воздуха в резервуарах и напряжение на зажимах электромагнитов	Количество операций
В и О	Наименьшее давление, при котором обеспечивается срабатывание и $U_{ном}$ оперативного тока	3
В—О	То же	2
В и О	Наименьшее рабочее давление и $U_{ном}$ оперативного тока	3
В—О	То же	2
В и О	Номинальное давление и $U_{ном}$ оперативного тока	3
В—О	То же	2
В	Наибольшее рабочее давление и $0,8U_{ном}$ оперативного тока	2
В	Наибольшее рабочее давление и $0,85U_{ном}$ оперативного тока	2
О	Наибольшее рабочее давление и $0,65U_{ном}$ оперативного тока	2
В—О	Наибольшее давление и $U_{ном}$ оперативного тока	2
О—В—О	Наибольшее давление для АПВ и $U_{ном}$ оперативного тока	2

Проверка контактных соединений шин

Оценка состояния контактных соединений шин (провода) производится методом сравнения падения напряжения от переменного тока на участке с контактным соединением и без него при одинаковой длине участка (рис. 161). В качестве нагрузочного устройства, которое

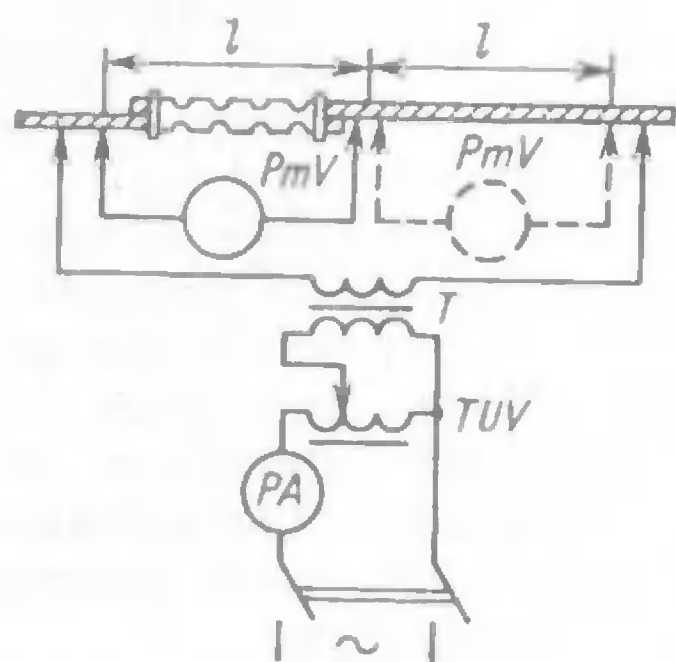


Рис. 161. Схема проверки контактных соединений ошиновки:

T —нагрузочный трансформатор;
 TUV —лабораторный автотрансформатор

служит источником тока, может быть использован трансформатор безопасности напряжением 220/12 В. В качестве милливольтметра используется электромагнитный милливольтметр с возможно меньшими пределами измерений. Контактное соединение оценивается как удовлетворительное, если падение напряжения на участке с соединением и без него различаются не более чем на 20 %. В противном случае соединение или отвлечение требует переделки. На подстанциях 35 кВ и выше для удобства реко-

мендуется проверку осуществлять в процессе монтажа, что исключает использование механизмов (подъемных) для измерений и необходимость повторного спуска проводов при переделках соединений в результате их отбраковки.

Проверка контактных соединений может производиться и измерением сопротивлений участков проводов с соединением и без него. В этом случае рекомендуется производить измерение мостом. Результаты оцениваются и в этом случае аналогично предыдущему.

Оценка состояния контактных соединений ошиновок только по результатам электрических измерений недостаточна, так как сопротивление и падения напряжения могут быть удовлетворительными и в случае неполной поверхности соприкосновения контактов, что недопустимо. Более точно определить состояние контактов можно дополнительным измерением габаритов опрессовок и сравнением их с приведенными в технических условиях на монтаж и приемку их.

Болтовые соединения ошиновок на ток 1000 А и более проверяются выборочно (2—3 %). Сварные контактные соединения не проверяются измерениями, а только осматриваются и бракуются в случае наличия пережогов или усадочных раковин глубиной более 1/3 диаметра провода.

Проверка и испытания силовых кабелей

При конструктивных особенностях силовых кабелей оценка состояния их может производиться только по результатам проверки состояния их изоляции. Измеряется сопротивление изоляции $R_{из}$ мегаомметром 2500 В, которое у кабелей напряжением до 1 кВ должно быть не менее 0,5 МОм, а у силовых кабелей напряжением более 1 кВ не нормируется. У трехфазных кабелей измерение $R_{из}$ производится для каждой жилы по отношению к двум другим заземленным.

Состояние силовых кабелей определяют результаты испытания изоляции их повышенным напряжением. Испытанию выпрямленным напряжением подвергается каждая жила относительно оболочки и двух других заземленных жил. Для испытания используются выпрямительные установки с двухполупериодной схемой выпрямления. При этом измеряется ток утечки, значение которого не регламентируется, но характер изменения которого учитывается для оценки состояния кабеля и его разделки на концах, а также в соединительных муфтах.

Значения испытательных напряжений для силовых кабелей приведены в табл. 9.

Указанные в таблице напряжения достигаются плавным подъемом напряжения со скоростью 1—2 кВ/с и выдерживаются в течение 15 мин для кабелей 110—220 кВ, 10 мин для новых кабелей 2—35 кВ (с бумажной изоляцией) и 5 мин для находящихся в эксплуатации кабелей с резиновой изоляцией.

Во время испытания ведется наблюдение за показаниями приборов (амперметра, вольтметра) и разделками на концах кабеля. Испытания подготавливаются и проводятся с соблюдением требований Правил по технике безопасности.

Оценка состояния кабеля производится по характеру (стабильности) и значению тока утечки, измеряемого миллиамперметром грубо и микроамперметром точно. При удовлетворительном состоянии кабеля ток утечки

Таблица 9. Испытательные напряжения, кВ, силовых кабелей различного напряжения

Вид испытания	Напряжения силовых кабелей, кВ, с изоляцией бумажной									
	До 1	2	3	6	10	20	35	110	220	
После прокладки и монтажа	6	12	18	36	60	100	175	250	500	
После капитального ремонта и при профилактических испытаниях	2,5	10—17	15—25	36—45	60	100	175	250	500	

Продолжение

Вид испытания	Напряжения силовых кабелей, кВ, с изоляцией резиновой									
							пластмассовой			
	3	6	10	0,66	1	3	6	10		
После прокладки и монтажа	6	12	20	3,5*	5	15	36	60		
После капитального ремонта и при профилактических испытаниях	6**	12**	20**	—	2,5*	7,5	36	60		

* Испытание является обязательным после капитального ремонта только для кабелей, используемых на электростанциях, подстанциях и в распределительных устройствах. Испытание выпрямленным напряжением одножильных кабелей с пластмассовой изоляцией без брони не проводится.

** После мелких ремонтов изоляция проверяется только мегаомметром 2500 В.

при подъеме напряжения на каждый новый участок ступеней сначала резко возрастает (за счет заряда емкости кабеля), затем быстро спадает до 10—20 % максимального значения: у кабелей до 10 кВ — 300 мкА, у кабелей до 20—35 кВ — до 800 мкА. При наличии дефектов ток утечки спадает медленно и даже может возрасти, особенно при полном испытательном напряжении. Установившееся значение тока утечки при максимальном испытательном напряжении указывается в протоколе испытания. Признаками дефекта являются также большая асимметрия токов утечки по фазам (более 8—10), пробой, резкие броски токов в сторону увеличения и напряжения в сторону уменьшения.

Наиболее вероятное место дефекта — муфта из-за некачественной разделки. Но возможны повреждения самих кабелей при транспортировке и монтаже и заводские дефекты. Для более быстрого обнаружения места повреждения кабеля, если во время испытания замечены вышеперечисленные признаки этого, напряжение во время испытания поднимается до наступления пробоя, после чего выбирается метод определения места повреждения и осуществляется его поиск, если им не оказывается видимое место пробоя.

После устранения дефекта кабель подвергается повторному испытанию. При удовлетворительных результатах испытаний кабель может включиться в работу, но перед включением должна быть осуществлена фазировка с другими кабелями, подключенными к той же электроустановке, к которой должен быть подсоединен и новый.

Фазировка кабелей производится с соблюдением всех мер безопасности и обычно эксплуатационным персоналом. Фазировка представляет собой проверку соответствия фаз подключаемого кабеля фазам соединяемых на параллельную работу различных распределительных устройств через этот кабель; это и определяет метод фа-

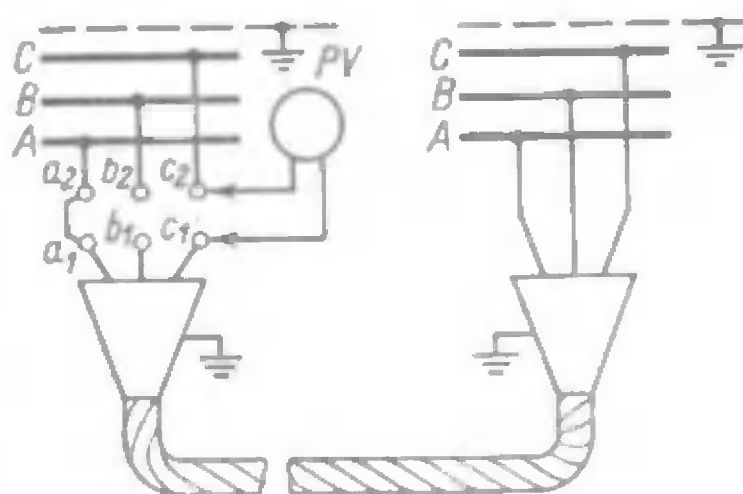


Рис. 162. Фазировка силовых кабелей

зирования, один из примеров которого представлен на рис. 162.

Проверка заключается в измерении напряжений между всеми одноименными и между каждой из них и двумя другими фазами. Измерения производятся в сетях напряжением до 380 В с помощью вольтметров, напряжением 2—10 кВ с помощью специальных указателей напряжения или трансформаторов напряжения, напряжением более 10 кВ только с помощью трансформаторов напряжения. Перед измерениями любые две предполагаемые одноименные фазы должны быть соединены между собой с помощью временной перемычки (в случае напряжения 380 В и ниже) или разъединителя (в случае фазировки на напряжении более 380 В) для образования электрического контура, необходимого для возможности измерения. В случае четырехпроводной системы (в системах низкого напряжения) перемычка не требуется.

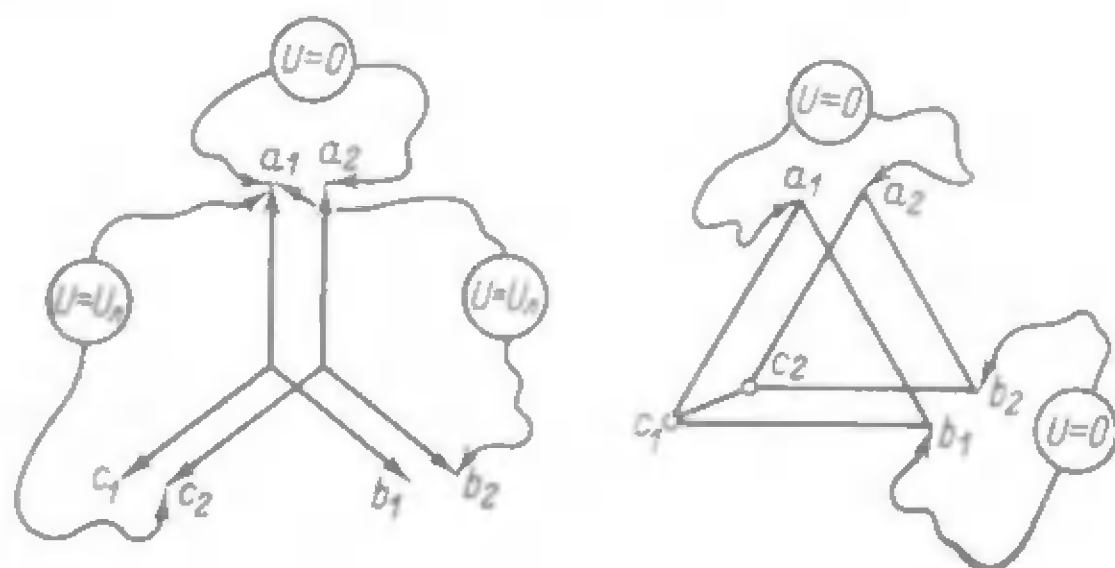


Рис. 163. Вектор диаграмм для нормального случая фазировки кабелей

Результаты проверки соответствия фаз, определяющие возможность включения кабеля в работу, можно считать удовлетворительными, если измеренные напряжения по схеме рис. 162 между фазами $a_1—a_2$, $b_1—b_2$, $c_1—c_2$ равны нулю, а между одной из одноименных и разноименными $a_1—b_2$, $a_1—c_2$, $b_1—a_2$, $b_1—c_2$, $c_1—a_2$, $c_1—b_2$ примерно одинаковы. Соответствующая этому случаю векторная диаграмма представлена на рис. 163.

Возможные случаи измерений, выявляющих несоответствие фаз, приведены на рис. 164.

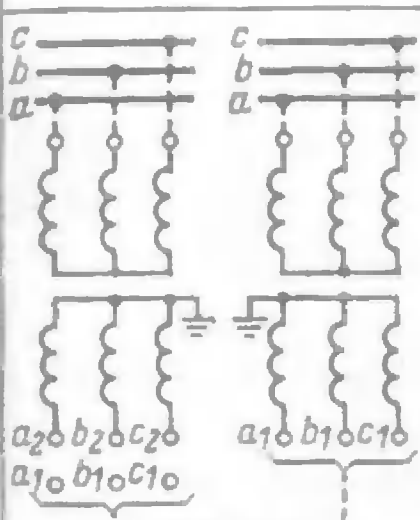
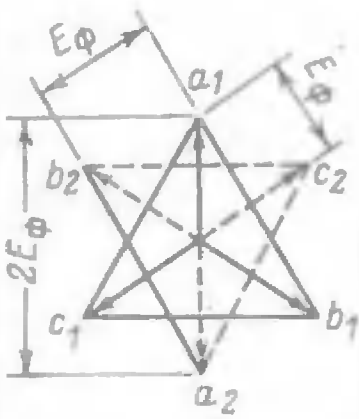
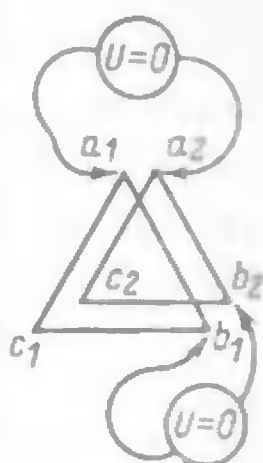
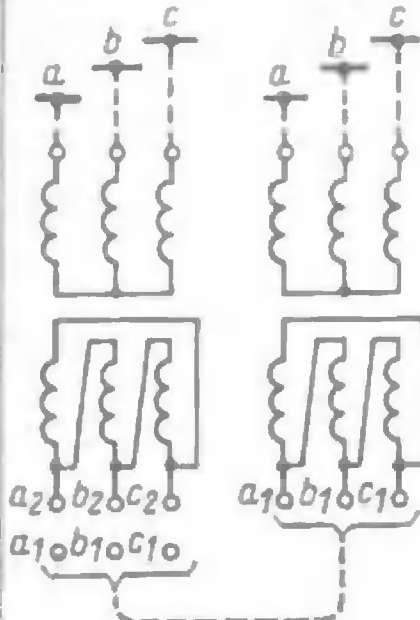
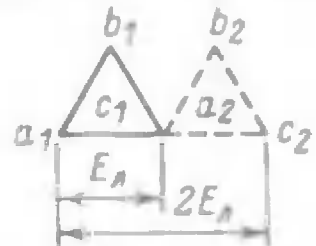
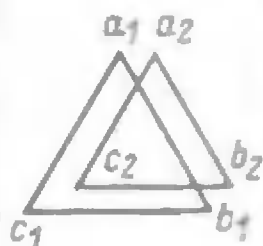
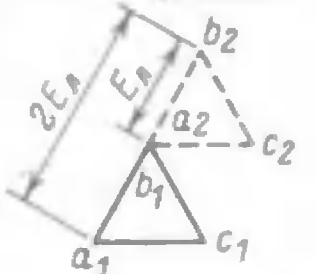
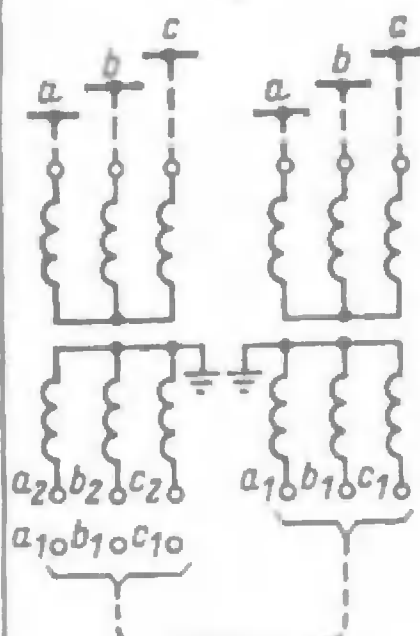
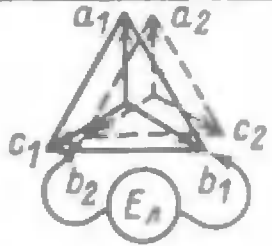
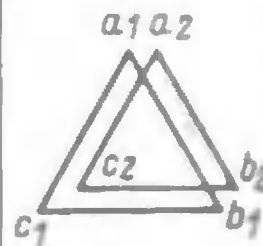
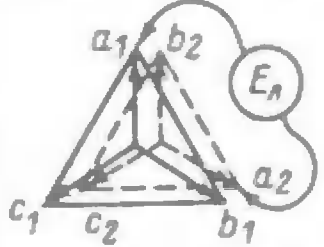
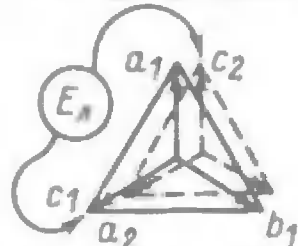
Схема установки	Измерено	Вывод	Повторное измерение, подтверждающее возможность включения
	Нулевых показаний нет 	Несоответствие полярностей обмоток трансформатора со стороны фазированного кабеля. Следует поменять все начала и концы обмоток	
	Нулевых показаний нет. При повторных измерениях перемычкой соединяются выводы, между которыми первый раз было измерено минимальное напряжение E_A	Случай 1  Перепутаны a_2 с c_2	
	Случай 2  Перепутаны a_2 с b_2		
	Одно показание нулевое. Остальные $-E_A$	Случай 1  Перепутаны b_2 с c_2	
		Случай 2  Перепутаны a_2 с b_2	
		Случай 3  Перепутаны a_2 с c_2	

Рис. 164. Ненормальные случаи при фазировке кабелей

7. СИСТЕМА ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН

Проверка отдельных элементов систем возбуждения

Система возбуждения синхронных машин представляет собой комплекс элементов, аппаратов и устройств, обеспечивающих надежное питание постоянным током обмотки ротора во всех возможных режимах работы генератора.

Главным устройством системы возбуждения является возбудитель, в качестве которого в генераторах небольшой мощности используются электромашинные возбудители, т. е. генераторы постоянного тока, а в генераторах 100 МВт и более — тиристорные, высокочастотные и бесщеточные.

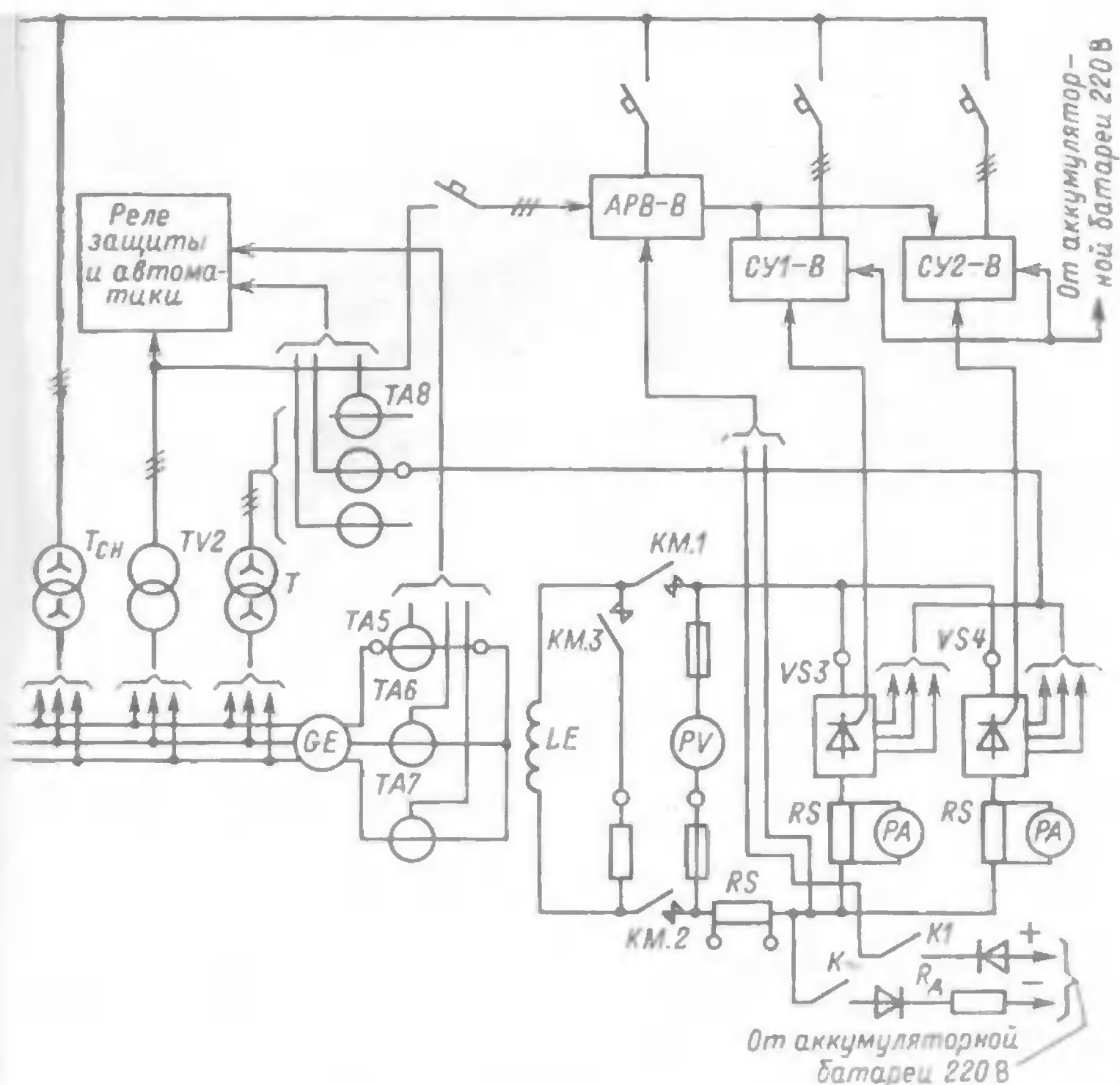
В качестве резервных возбудителей используются электромашинные возбудители, приводящиеся в движение от асинхронных электродвигателей.

В качестве примеров систем возбуждения на рис. 165 приведена принципиальная схема электромашинной системы возбуждения резервного возбудителя турбогенератора 300 МВт, а на рис. 166 — принципиальная электрическая схема системы тиристорного возбуждения турбогенераторов 160—800 МВт.

Оценка состояния систем возбуждения производится на основании проверок, приведенных ниже.

Проверка реостатов и резисторов. При этой проверке обращается внимание на механическое состояние креплений, выводов, на целостность изоляторов. Очень важно для реостатов, чтобы сопротивление при движении ползунка изменялось без разрыва цепи. Измеряется сопротивление постоянному току всех секций реостатов и резисторов. Обращается внимание на то, что при уменьшении сопротивления реостата в работу вводятся секции из более толстой проволоки, т. е. рассчитанные на большие токи. Общее сопротивление реостатов возбуждения должно быть больше сопротивления обмотки возбуждения возбудителя в 15—20 раз (см. § 3), номинальный ток их должен быть больше максимально возможного по режимам работы.

При проверке резисторов гашения поля на них одновременно устанавливается отпайка, соответствующая оптимальному условию гашения поля ротора.



го возбуждения турбогенератора мощностью 160—800 МВт: трансформаторы напряжения; $TA1—TA8$ — трансформаторы тока; RS — шунты; $VS3, VS4$ — тиристорные преобразователи возбудителя; $CY1, CY2, CY1-B$, генератора и возбудителя автоматические; $PV1, PV2$ — вольтметры; PA — амперметры ввода рабочего и резервного возбуждения; KS — контакты; LE — обмотка возбуждения вспомогательного генератора; KA — реле тока; выпрямительный; $KM.1—KM.3$ — контакты контактора гашения поля возбу-

Мегаомметром 1000—2500 В проверяется изоляция между разомкнутыми токоведущими частями и основанием, а также вторичных цепей. При сопротивлении изоляции менее 20 МОм автомат продувается горячим воздухом, после чего испытываются в течение 1 мин повышенным напряжением промышленной частоты: 2 кВ — силовые и 1 кВ — вторичные цепи.

Как и всякий коммутационный аппарат, после предварительных проверок автомат опробуется подачей на него оперативного напряжения, включением и отключением без нагрузки.

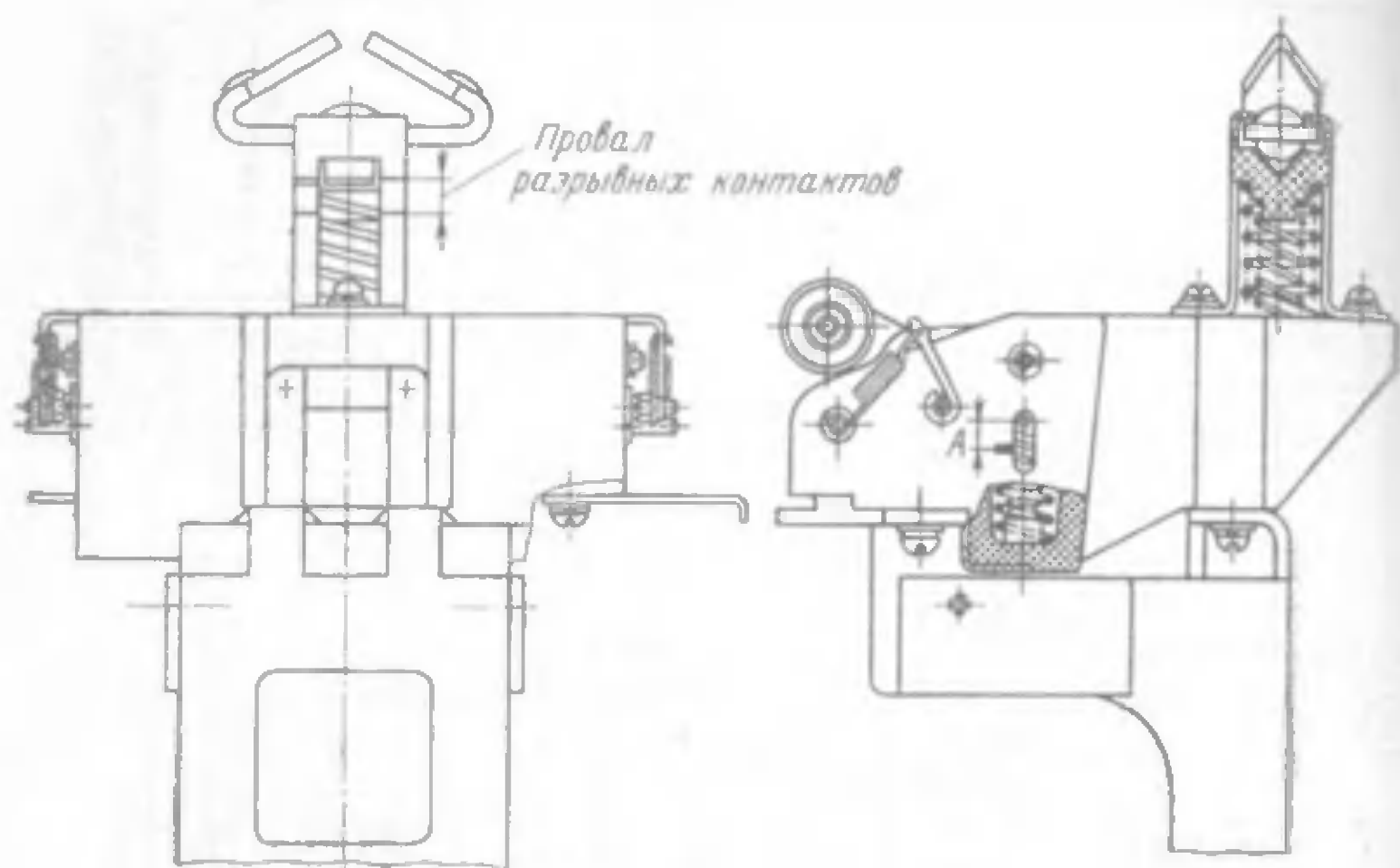


Рис. 167. Контролируемые размеры контактной системы автомата АГП-30:

А — размер, контролирующий провал главных контактов

Завершающей проверкой, после которой дается окончательная оценка возможности включения автомата в работу, является опробование его под нагрузкой с осциллографированием напряжения на роторе или на решетке при отключении автоматов тока ротора. При отключении тока ротора обращается внимание на то, чтобы в камере разрывных контактов, на контактных пластинах, стенках и катушках не было оплавления, копоти и нагара.

При опробовании автомата вхолостую рекомендуется измерить минимальное напряжение срабатывания электромагнитов и время работы автомата.

Полностью собранная схема возбуждения, за исключением обмоток возбуждителя и ротора, которые на этот случай отсоединяются, подвергается проверке мегаомметром 1000—2500 В, и, если изоляция имеет сопротивление не менее чем 1 МОм, она испытывается повышенным напряжением промышленной частоты 1 кВ в течение 1 мин.

До начала пусковых испытаний генератора и включения его в работу обычно производится корректировка показаний милливольтметра, с помощью которого во

время эксплуатации генератора измеряется ток ротора в порядке контроля за ним. Необходимость такой проверки вызывается тем, что из-за большой длины кабеля от шунта до милливольтметра, отградуированного в амперах, показания последнего могут быть искажены, что приведет к неправильной оценке режима работы генератора эксплуатационным персоналом.

Проверка производится по схеме, представленной на рис. 168. Пунктиром на схеме показаны временные от-

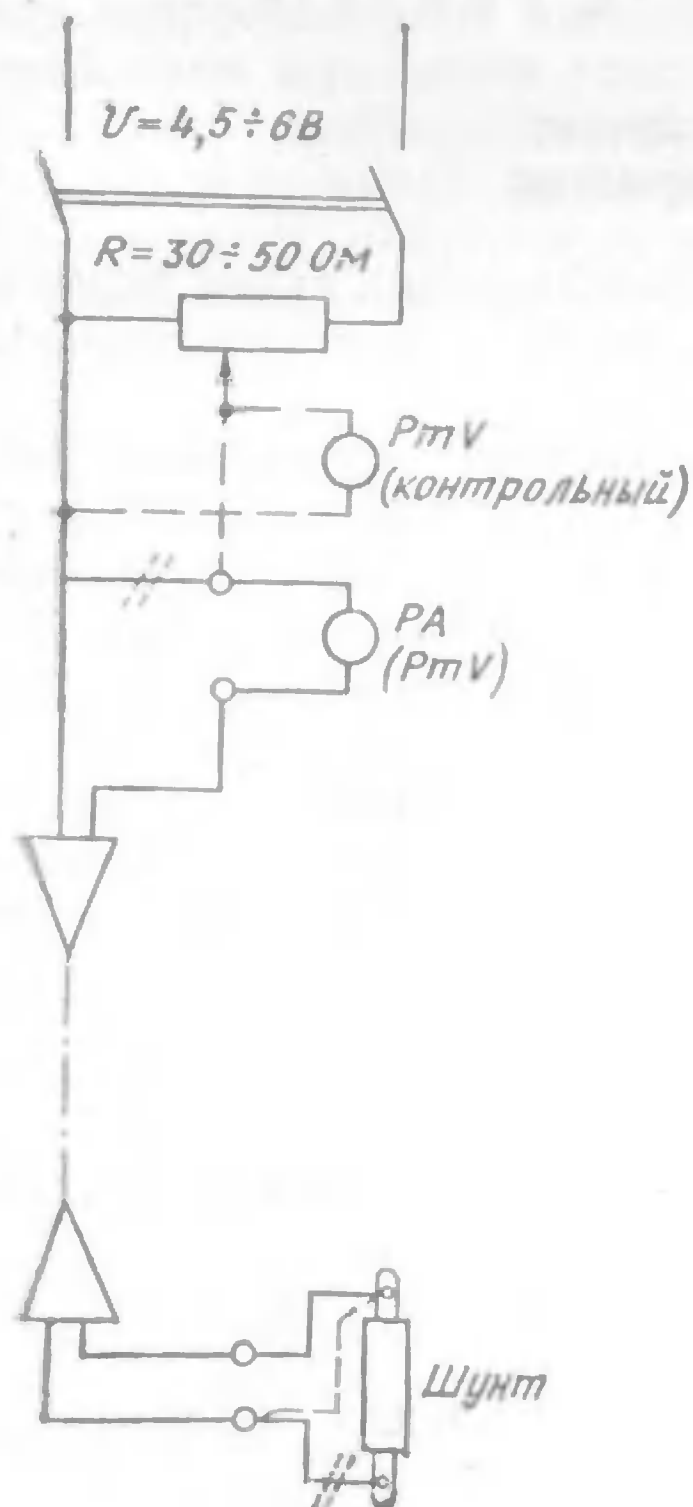


Рис. 168. Схема проверки амперметра возбуждения

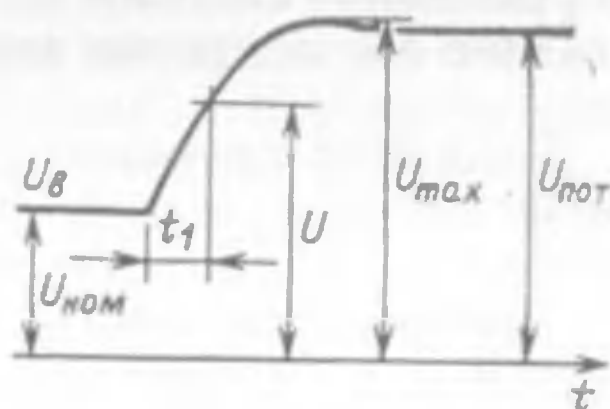


Рис. 169. Осциллограмма процесса нарастания напряжения возбудителя

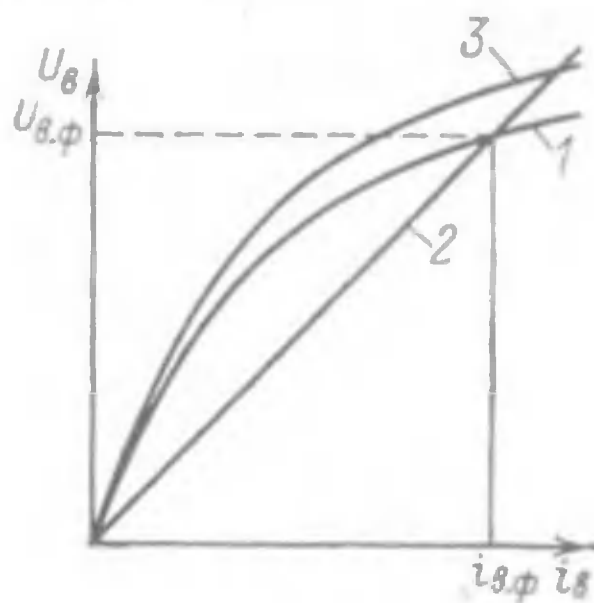


Рис. 170. Характеристики возбудителя:

1 — нагрузочная; 2 — самовозбуждения; 3 — холостого хода

соединения и подключения, которые делаются только для производства проверки. Как видно из рисунка, для проверки в схему «врезается» источник напряжения постоянного тока с контрольным милливольтметром (на щите управления). При подаче на схему напряжения, значение которого соответствует напряжению, указан-

ному на шунте (45, 60 или 75 мВ), стрелка щитового милливольтметра, отградуированного в амперах, должна отклониться до значения номинального тока в шунте. В случае необходимости производится «подгонка» с помощью специального сопротивления или магнитного шунта, предусмотренных заводом для этого в приборе. Если возможностей прибора для «подгонки» недостаточно, производится переградуировка шкалы щитового амперметра (милливольтметра).

Проверка возбудителя описана в § 3 и в [8].

Опробование системы возбуждения и снятие его основных характеристик

Основные проверки при опробовании систем возбуждения описаны в § 3. Дополнительно к этому производятся следующие проверки.

Определение скорости нарастания напряжения возбудителя в режиме нагрузки возбудителя на ротор генератора производится по осциллограмме параметров возбуждения в опыте форсировки, снимаемой при пусковых испытаниях генератора, и напряжения на роторе при работе АГП.

Обработка осциллограммы, изображающей процесс нарастания напряжения возбудителя от номинального до потолочного при форсировке возбуждения (рис. 169), происходит следующим образом:

1) определяется величина

$$U' = 0,632 (U_{\text{пот}} - U_{\text{ном}});$$

2) определяется по осциллограмме время t_1 от начала форсировки до значения

$$U = U_{\text{ном}} + U';$$

3) определяется скорость нарастания напряжения возбудителя, 1/с:

$$U = \frac{U'}{U_{\text{ном}} t_1}.$$

Скорость нарастания напряжения для систем с электромашинным возбудителем должна быть не менее $2 U_{\text{ном}}$ в секунду и потолок возбуждения должен быть не менее $2 U_{\text{ном}}$. Это имеет значение для оценки возможности генератора, включая его систему возбуждения, как

можно быстрее поднять ЭДС при коротких замыканиях.

Осциллографирование процесса нарастания напряжения производится с помощью делителя напряжения, собираемого на контактах АГП, с которого подается напряжение в схему осциллографирования.

Особое внимание при оценке готовности системы возбуждения к нормальной работе в случае применения в системе генератора постоянного тока обращается на выбор сопротивления добавочных резисторов и рабочего диапазона шунтового реостата для обеспечения максимального возбуждения при форсировке. В некоторых случаях возникает необходимость ограничить потолок возбуждения, например у генераторов с форсированным охлаждением обмоток ротора, у которых потолок возбуждения ограничивается двукратным значением номинального тока и напряжения.

Сопротивление добавочного резистора, необходимого для ограничения возбуждения при форсировке, определяется на основании нагрузочной характеристики возбудителя 1 и характеристики самовозбуждения возбудителя 2 (рис. 170).

Сопротивления добавочного резистора составляют:
для схемы самовозбуждения

$$R_{\text{доб}} = \frac{U_{\text{в.ф}}}{i_{\text{в.ф}}} - R_{\text{о.в.в}} - R_{\text{пров}};$$

для схемы независимого возбуждения

$$R_{\text{доб}} = \frac{U_{\text{подв}}}{i_{\text{в.ф}}} - R_{\text{о.в.в}} - R_{\text{пров}},$$

где $R_{\text{о.в.в}}$ — сопротивление обмотки возбудителя; $R_{\text{пров}}$ — сопротивление соединительных проводов; $i_{\text{в.ф}}$, $U_{\text{в.ф}}$ — ток возбуждения и напряжение возбудителя в режиме форсировки; $U_{\text{подв}}$ — напряжение подвозбудителя.

Сопротивление шунтового реостата в режиме холостого хода (или номинальном) с учетом сопротивления добавочного резистора определяется из выражения

$$R_{\text{ш.р}} = \frac{U_{\text{в}}}{i_{\text{в}}} - R_{\text{о.в}} - R_{\text{доб}}.$$

В схеме независимого возбуждения вместо $U_{\text{в}}$ в приведенном выражении используется напряжение подвозбудителя. После выбора сопротивления добавочного

резистора, ограничивающего потолок возбуждения, определяется повторно скорость нарастания напряжения возбuditеля, которая, как правило, с увеличением сопротивления резистора уменьшается.

Система возбуждения синхронных двигателей имеет некоторую специфику — при пуске его во избежание повреждения ротора, вернее, его обмотки ротор должен быть закорочен. На это обращается внимание при оценке готовности к эксплуатации синхронных электродвигателей.

Основной метод пуска синхронных электродвигателей — прямой синхронный. При этом методе, если момент сопротивления нагрузки не превышает $0,4 M_{\text{ном}}$, рекомендуется возбудитель подключать к обмотке ротора наглухо. В некоторых случаях с разрешения завода-изготовителя глухое подключение возбудителя допускается и при больших нагрузках.

Для увеличения момента на время пуска в цепь ротора вводится сопротивление $R = (6 \div 10) R_p$, которое при частоте вращения ротора, близкой к синхронной, замыкается контактором возбуждения. Для этого обычно применяется контактор с защелкой, чтобы схема возбуждения машины при работе не зависела от наличия оперативного напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы испытания электрооборудования. — 5-е изд. М.: Энергия, 1984.
2. Справочник по наладке электрооборудования электростанций и подстанций/Под ред. Э. С. Мусаэляна. — 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Архипцев Ю. Ф., Котеленец Н. Ф. Асинхронные электродвигатели. — 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Бажанов С. А., Воскресенский В. Ф. Профилактические испытания изоляции оборудования высокого напряжения. М.: Энергия, 1977.
5. Инструкция. Трансформаторы силовые, транспортирование, разгрузка, хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию. РД 16.363-87. М.: 1987. Запорожский тр. з-д.
6. Инструкция. Транспортирование, хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию силовых трансформаторов на напряжение до 35 кВ включительно без ревизии их активных частей. ОАХ 458.003-70. М.: СПО «Союзтехэнерго». 1970. ЗТЗ, 1970.
7. Якобсон И. А. Испытания и проверки при наладке электрооборудования. М.: Энергоатомиздат, 1988.
8. Справочник по наладке контрольно-измерительных приборов и систем возбуждения на электростанциях и подстанциях/Под ред. Э. С. Мусаэляна. М.: Энергия, 1974.
9. Сахновский Н. Л. Испытание и проверка электрического оборудования. М.: Энергия, 1975.
10. Крикун И. В. Испытания заземляющих и зануляющих устройств электроустановок. Б-ка электромонтера; вып. 373. М.: Энергия, 1973.

Акционерное общество открытого типа **«Электроцентромонтаж»** — это 3000 высококвалифицированных рабочих и специалистов, выполняющих работы по монтажу электрооборудования, контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации тепловых и атомных электростанций, подстанций любых типов, промышленных объектов и жилищно-бытового строительства.

С 1992 г. АО «Электроцентромонтаж» выполняет работы по энергоснабжению «под ключ» городков по программе жилищного строительства для возвращающихся из-за рубежа военнослужащих.

Для эффективного ведения работ «Электроцентромонтаж» располагает монтажными подразделениями в центре Европейской части России, автотранспортным предприятием, осуществляющим перевозки тяжеловесных грузов от 20 до 420 т на трейлерах, оснащенных тягачами, двумя заводами — в г. Новомосковске, выпускающем электротехническое оборудование, и в г. Курчатове, выпускающем штамповую оснастку, светильники и запорную арматуру.

Акционерное общество «Электроцентромонтаж»

- на территории России, Республики Беларусь и за рубежом совместно с АО «Электроцентроналадка» примет подряды на выполнение: строительно-монтажных и наладочных работ на электростанциях и подстанциях любых типов, электроснабжения «под ключ» объектов культурно-бытового назначения;

- вступит в партнерские отношения с отечественными и зарубежными фирмами, выпускающими электротехническое оборудование, на предмет его монтажа и наладки на объектах страны и за рубежом;

- разместит заказы фирм и компаний по производству изделий на свободных мощностях своих заводов.

Наш адрес: 121885, Москва, Г-59, Бережковская набережная, д. 16, к. 2
Контактные телефоны: 240-48-90, 240-48-91, 240-31-47

секретарь 240-98-98

Телеграф: Москва, Центроток

Телетайп: 111433 Амунет

Факс: [095] 240-33-08

TELEX 411700 for NEFRIT BOX-007316

АО «Электроцентроналадка» является головным предприятием в области пусконаладочных работ электроэнергетического профиля Минтопэнерго РФ, выполняет комплекс пусконаладочных работ, плановых и профилактических проверок по электротехническому оборудованию, контрольно-измерительным приборам и средствам автоматизации тепловых и атомных электростанций, подстанций любых типов и напряжений, промышленных объектов, а также монтажи и перевозки силовых трансформаторов и обработку трансформаторных масел и изоляции.

АО «Электроцентроналадка» АО ЭЦН преобразовано из государственного предприятия «Электроцентроналадка» в 1992 г.

АО ЭЦН во всех видах соответствующей уставу деятельности выступает совместно с АО «Электроцентромонтаж». Для эффективного ведения работ АО ЭЦН располагает более чем 700 высококвалифицированными специалистами, оснащенными лабораториями, полным парком измерительных приборов и средств вычислительной техники, имеет лицензию Московского центра «Мосстройлицензия» на осуществление работ.

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ЭЛЕКТРОЦЕНТРОНАЛАДКА»

Выполнит на энергетических и промышленных объектах комплекс работ по проектированию, наладке, испытаниям, диагностике с гарантийным и сервисным обслуживанием:

- электрического оборудования, устройств управления, автоматики, релейной защиты, учета энергопотребления;
- систем АСУ ТП.

Проведет монтаж, ремонт и такелаж силовых трансформаторов, обработку и анализ трансформаторного масла.

Предприятие решит Ваши проблемы, выполнив комплекс работ по отдельным видам электрооборудования и АСУ ТП «под ключ».

121869, Москва, ГСП-2, Бережковская наб. 16, корп. 2

Контактные телефоны: 240-99-02, 240-58-30

Факс. 240-45-79

14365 M
64

N644

1994