

пряжением 0,4—20 кВ, рассмотреть измерения как в нормальном, так и в аварийном режимах, а также объемы испытаний.

Авторы имеют большой опыт работы в организации эксплуатации распределительных сетей в системе Латвглавэнерго Министерства энергетики и электрификации СССР и надеются, что их труд принесет пользу электромонтерам, бригадирам и мастерам, обслуживающим электрические сети до 20 кВ.

Авторы с благодарностью примут замечания читателей по книге и просят направлять их в адрес издательства «Энергия»: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Авторы

1. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ

Измерение токов нагрузки отдельных элементов распределительной сети позволяет установить наиболее выгодные режимы работы сети, определить степень использования пропускной способности отдельных ее элементов, контролировать качество энергии, подаваемой потребителю, и износ сетевого оборудования. Систематический контроль осуществляется путем измерения токов нагрузки амперметрами или токоизмерительными клещами.

• Предел измерений амперметра должен превышать ожидаемое значение тока, а внутреннее сопротивление амперметра должно быть на два порядка меньше сопротивления нагрузки. Если сопротивление амперметра значительно, его включение приводит к снижению тока ΔI :

$$\Delta I = \frac{U}{r_n} - \frac{U}{r_n + r_a},$$

где U — напряжение сети, В; r_n — сопротивление нагрузки, Ом; r_a — сопротивление амперметра, Ом.

Для расширения пределов измерения, возможности применения однотипных измерительных приборов и отделения силовых цепей от измерительных пользуются трансформаторами тока. Трансформатор тока обеспечивает свой класс точности при токе не более 1,2 номинального и сопротивлении нагрузки

$$z_{2н} \geq z_2 \approx r_2,$$

где $z_{2н}$ — номинальная нагрузка трансформатора тока, Ом; z_2 — расчетная нагрузка, Ом; $r_2 = \Sigma r_a + r_{\text{пров}} + r_{\text{конт}}$ — расчетная активная нагрузка, Ом; Σr_a — суммарное сопротивление всех измерительных приборов, подключенных к одному трансформатору тока, Ом; $r_{\text{пров}}$ — сопротивление проводов вторичной цепи, Ом; $r_{\text{конт}} \approx 0,1$ Ом — суммарное сопротивление контактов.

Схемы включения измерительных приборов показаны на рис. 1. Если расчетная нагрузка больше номинальной

нагрузки трансформатора тока, применяют два последовательно включенных трансформатора тока (рис. 1,2).

Измеряемый ток I определяется из выражения

$$I = I_n k_{ТТ},$$

где I_n — показания прибора; $k_{ТТ}$ — коэффициент трансформации трансформатора тока.

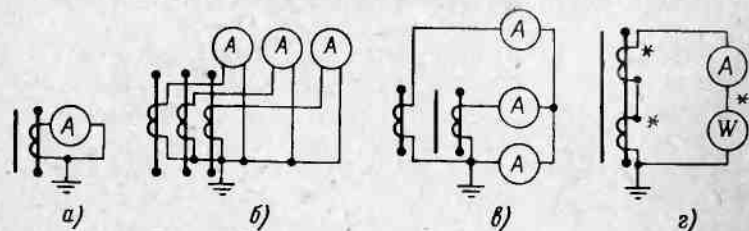


Рис. 1. Схемы включения амперметров через трансформаторы тока. а — однофазные с одним трансформатором тока; б — трехфазные с тремя трансформаторами тока; в — трехфазные с двумя трансформаторами тока; г — с последовательным включением трансформаторов тока.

При использовании токоизмерительных клещей ими охватывают провод или шины таким образом, чтобы ярмо и губки не касались токоведущих частей измеряемой или других фаз. Необходимо также, чтобы губки клещей были плотно сжаты.

Измерение напряжения. При эксплуатации сети необходимо определять отсутствие и наличие, а также уровень напряжения отдельных элементов сети.

Напряжение измеряют вольтметром, предел измерения которого больше напряжения сети, а внутреннее сопротивление минимум на два порядка больше сопротивления измеряемого объекта.

Предел измерения напряжения в случае необходимости можно расширить применением добавочного сопротивления

$$U_{в.д} = \frac{U_n (r_v + r_d)}{r_v},$$

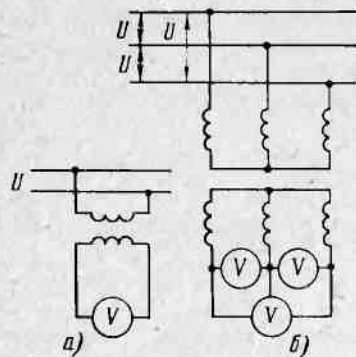


Рис. 2. Схемы включения вольтметров через трансформаторы напряжения. а — однофазные; б — трехфазные.

где $U_{в.д}$ — предел измерений вольтметра с добавочным сопротивлением, В; U_n — предел измерения вольтметра, В; r_v — внутреннее сопротивление вольтметра, Ом; r_d — добавочное сопротивление, Ом.

В цепях переменного тока напряжением выше 1000 В применяются трансформаторы напряжения. Номинальная нагрузка трансформатора напряжения S_n , В·А, должна быть больше или равной расчетной нагрузке S_2 , В·А, определяемой выражением

$$S_2 = \sqrt{(\Sigma P_{приб})^2 + (\Sigma Q_{приб})^2},$$

где $P_{приб}$, $Q_{приб}$ — активная и реактивная мощности, потребляемые обмотками напряжения измерительных приборов.

Схемы включения измерительных приборов показаны на рис. 2.

Измеренное напряжение определяется из выражения

$$U = U_n k_{ТН},$$

где U_n — напряжение, измеряемое вольтметром, В; $k_{ТН}$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Измерение мощности производят для определения загрузки отдельных элементов сети. При измерениях пользуются ваттметрами. Активную мощность в однофазной цепи переменного тока измеряют по схеме, изображенной на рис. 3,а. Для правильного включения ваттметра начала его обмоток обозначаются звездочками. Пределы измерения мощности расширяются примени-

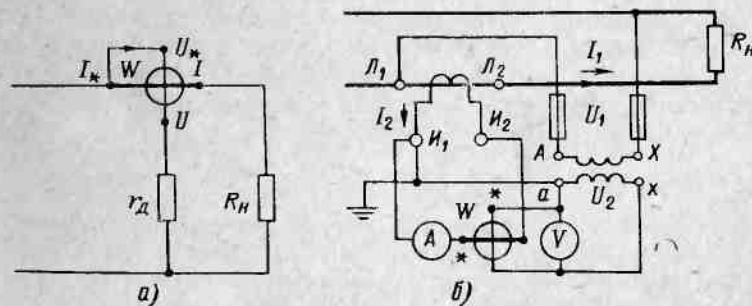


Рис. 3. Схемы включения ваттметра в цепь однофазного переменного тока.

ем трансформатора тока и напряжения (рис. 3,б). Мощность P , Вт, в этом случае определяется выражением

$$P = C_{вт} k_{тт} k_{тн},$$

где $C_{вт}$ — показания ваттметра; $k_{тт}$ и $k_{тн}$ — коэффициенты трансформации соответственного трансформатора тока и напряжения.

В четырехпроводной сети активная мощность измеряется трехэлементным ваттметром или с помощью трех

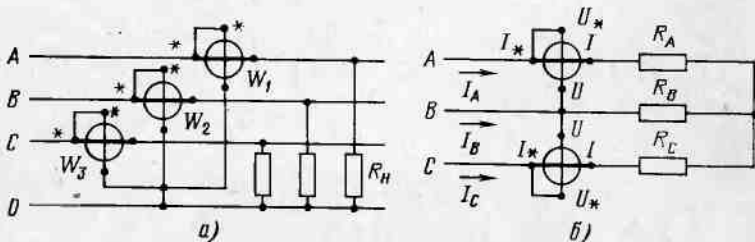


Рис. 4. Схема измерения мощности в четырехпроводной (а) и трехпроводной сети (б).

однофазных ваттметров, включенных в каждую из фаз (рис. 4,а). Измеряемая мощность, Вт, равна сумме показаний каждого прибора:

$$P = P_A + P_B + P_C.$$

В случае симметричной нагрузки достаточно включить один ваттметр в любую фазу. Суммарная мощность определяется, как трехкратная фазная.

Измерения активной мощности в трехпроводной сети производятся двухэлементным ваттметром или с помощью двух однофазных ваттметров, включаемых по схеме на рис. 4,б. Измеряемая мощность, Вт, равна сумме показаний обоих ваттметров:

$$P = P_1 + P_2.$$

При несимметричной нагрузке реактивная мощность в трех- и четырехпроводной сети измеряется тремя однофазными ваттметрами активной мощности (рис. 5,а). Суммарная реактивная мощность, вар, равна:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} (Q_A + Q_B + Q_C).$$

При симметричной нагрузке достаточно включить один однофазный ваттметр активной мощности по схеме на рис. 5,б. Реактивная мощность, вар, равна:

$$Q = \sqrt{3} Q_\phi,$$

где Q_ϕ — реактивная мощность в одной фазе, вар.

Можно определить Q , вар, по активной мощности, измеренной по любой из схем на рис. 5,в — д:

$$Q = \sqrt{3} (P_1 - P_2).$$

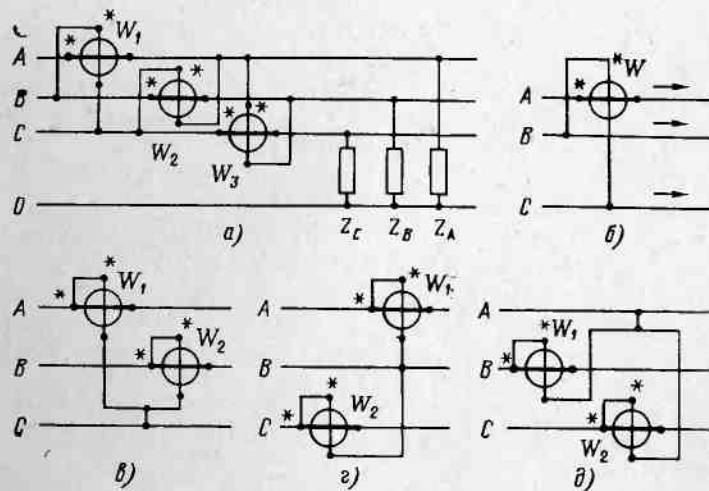


Рис. 5. Схема измерения реактивной мощности в трех- и четырехпроводной сети при несимметричной нагрузке (а), при симметричной нагрузке (б) и по схемам Арона (в, г, д).

Измерение коэффициента мощности производится фазометром. Коэффициент мощности также можно определить по измеренным значениям мощности, тока и напряжения:

$$\text{в однофазной сети } \cos \varphi = \frac{P}{UI}$$

и

$$\text{в трехфазной сети } \cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} U_n I};$$

где U_n — линейное напряжение, В; U — фазное напряжение, В; I — ток в фазе, А; P — мощность однофазной или трехфазной сети, Вт. Последовательность чередования фаз проверяется фазоуказателем.

Измерение самопишущими приборами. В электрических сетях часто возникает необходимость измерять напряжение, ток и нагрузку в течение длительного времени — суток и более. В этих случаях могут быть использованы самопишущие вольтметры, амперметры и ваттметры. Запись показаний производится чернилами на движущейся ленте. Перед включением прибора заправляют перо чернилами, проводят черту, соответствующую нулевому значению измерения, и заводят часовой механизм,двигающий ленту. По истечении необходимого времени прибор отключают, снимают ленту с записью показаний и на его лицевой стороне отмечают дату и время включения и отключения прибора, наносят шкалу времени и измеряемых величин, указывают коэффициент трансформации трансформаторов тока и напряжения. На обратной стороне указывают данные измеряемого объекта и измерительного прибора.

Определение качества электрической энергии. Показателями качества электроэнергии у ее приемников являются отклонения напряжения и частоты от номинальных значений, колебания напряжения и частоты, несинусоидальность формы кривой напряжения, а для трехфазных установок дополнительно смещение нейтрали и несимметрия напряжения основной частоты. Допустимые отклонения показателей напряжения регламентируются ГОСТ 13109-67.

Измерение напряжения стрелочными приборами не дает информации о качестве напряжения в необходимом объеме, а измерение самопишущими вольтметрами снижает точность измерений и требует трудоемкой обработки ленты. Контроль качества напряжения производится статистическими анализаторами качества напряжения (САКН).

Прибор САКН-1 является переносным полупроводниковым устройством с дискретной цифровой индикацией и обеспечивает контроль переменного напряжения 100, 127, 220 и 380 В. Контролируемый диапазон отклонений напряжения разбит на восемь интервалов. Каждому интервалу соответствует свой цифровой индикатор-счетчик. Фиксация исследуемого напряжения осуществляется цифровым индикатором автоматически через заданные промежутки времени в пределах 10—150 с. Прибор фиксирует и на цифровых индикаторах запоминает на длительное время число попаданий отклонений напря-

жения в заданные интервалы за весь период измерения. Функциональная схема прибора (рис. 6) состоит из измерительной схемы и схемы автоматики. Измерительная схема содержит входное устройство 1, распределитель 2, пороговое устройство 3, триггер 4, усилитель 5, распределитель 6 и схему индикации 7. В схему автома-

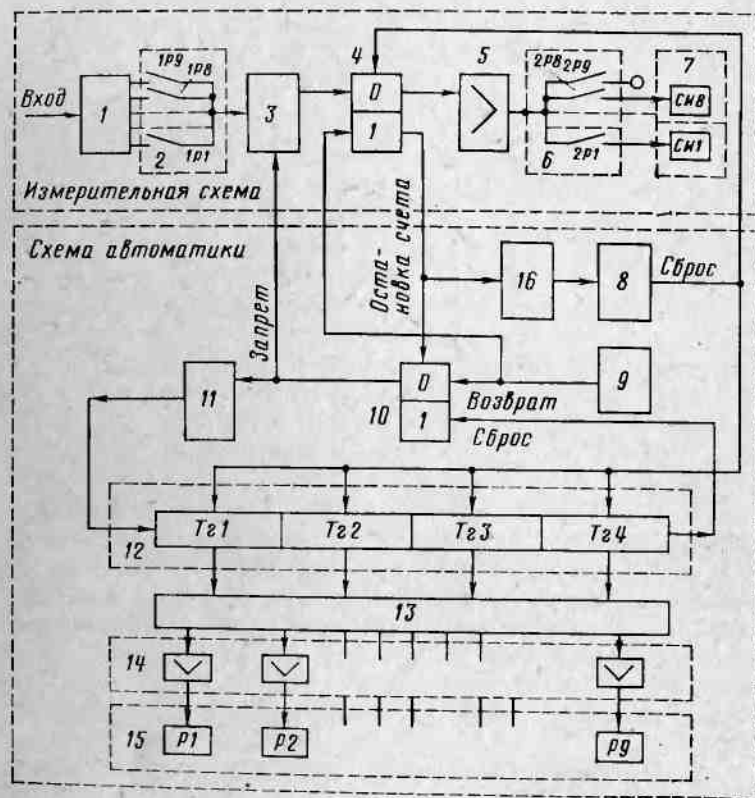


Рис. 6. Функциональная схема прибора САКН-1.

тики входят элемент времени 9, управляющий триггер 10, генератор тактовых импульсов 11, пересчетная схема 12, дешифратор 13, усилитель 14, схема коммутации 15, схема задержки 16 и элемент сброса 8.

По показаниям прибора строятся гистограммы. По гистограммам определяют, какую долю времени напряжение находилось в пределах каждого диапазона изме-

рений, регистрируемого соответствующим счетчиком. Перед включением прибора выбирается диапазон измерений. Этот диапазон разбивается на интервалы. Каждому интервалу соответствует свой цифровой индикатор-счетчик. В бланке измерений записывается время начала измерений, показания счетчиков, значение границ интервалов и диапазон регулировки времени между моментами контроля Δt . Снятие показаний счетчиков производится через сутки, несколько суток или неделю. Если

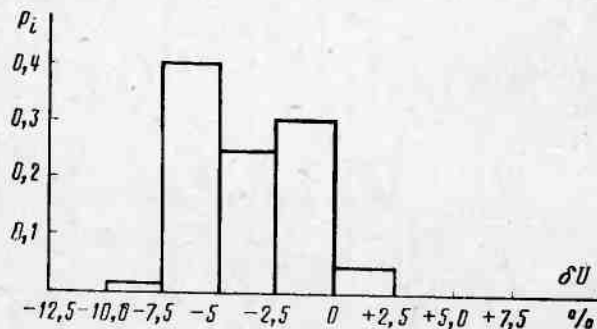


Рис. 7. Гистограмма отклонений напряжения.

диапазон измерений был выбран неправильно, необходимо его изменить и измерения повторить. Данные заносятся в бланк измерений и по ним определяется вероятность (P_i) попадания отклонений напряжения в выбранный диапазон. Для определения вероятности из замеров в конце измерений вычитаются показания счетчиков в начале измерений, и каждая из полученных разностей делится на сумму всех разностей. Пример гистограммы приведен на рис. 7.

Для измерения несимметрии напряжения приборы САКН включаются одновременно в три фазы или на три линейных напряжения. Несимметрия определяется сопоставлением гистограмм. Более подробно способы и средства определения качества напряжения рассмотрены в [5, 13].

Определение места повреждения электрической сети.

В процессе эксплуатации в распределительной сети возможны многофазные короткие замыкания, однофазные замыкания на землю и обрывы фаз.

Для дистанционного определения вероятной зоны междуфазного короткого замыкания в распределительных сетях успешно применяются устройства, фиксирующие ток обратной последовательности до момента отключения выключателя [3, 6]. Устройство состоит из фиксирующего импульсного прибора ФИП-Ф в комплекте с фильтром тока обратной последовательности ФТОП-2. Устройство подключается к трансформатору тока. Для удобства определения места повреждения используются топографические схемы распределительной сети, на которых нанесены эквикоковые линии обратной последовательности двухфазного короткого замыкания. Место замыкания определяется по значению тока на схеме сети с эквикоковыми линиями. Эквикоковые линии рассчитываются на ЭВМ.

В Ленэнерго разработаны и внедряются указатели зон междуфазных повреждений типа УЗК-10 [22]. Указатели обеспечивают дистанционное определение поврежденного участка на отключившейся от защиты линии 6—10 кВ. Указатели измеряют и фиксируют составляющую обратной последовательности тока короткого замыкания. В зависимости от значения этой составляющей на приборе зажигается лампа (тиратрон), соответствующая номеру зоны повреждения. Счетчик отключений показывает число действий АПВ.

В Белглавэнерго [25] разработано устройство для определения мест междуфазных и однофазных замыканий на воздушных линиях 6—10 кВ и их автоматической локализации. Устройство выполнено на базе ячейки КРУН 10 кВ, в которой установлены выключатель ВМП-10 с пофазным управлением, устройство для определения мест междуфазных и однофазных замыканий, орган выявления поврежденной фазы при однофазном замыкании на землю, автоматическое устройство пофазного управления выключателем, генератор тока тональной частоты. Определение мест междуфазных замыканий производится по значению тока обратной последовательности двухфазного короткого замыкания. Определение мест однофазных замыканий на землю производится по индуктивному сопротивлению петли искусственного двухфазного короткого замыкания с землей.

Централизованное устройство дистанционного определения расстояния до точки короткого замыкания предназначено для измерения полного или реактивного со-

противления линии до места междуфазного повреждения. На подстанции или распределительном пункте устанавливается одно устройство. Расстояния до точки повреждения фиксируются автоматически в аварийном режиме до отключения выключателя. Время фиксации от момента возникновения короткого замыкания не более 0,1 с. Точность измерения составляет $\pm 5\%$. Для повышения точности измерения введена коррекция измерения по параметрам предшествующего и аварийного режимов, что исключает шунтирующее влияние нагрузки. Устройство устанавливается на вводе к шинам 6—20 кВ. Информация о месте повреждения поступает в виде импульсов, пропорциональных расстоянию до места короткого замыкания.

В сети, секционированной автоматическими устройствами, поврежденный участок можно определить по состоянию секционирующих аппаратов. Для этого применяются устройства аварийно-предупредительной телесигнализации. Информация поступает на диспетчерский пункт сетевого района. Разработаны также устройство для определения отключенного секционирующего отделения способом автоматической передачи в бестоковую паузу энергии предварительно заряженных конденсаторов напряжением 0,4 кВ по сети 6—10 кВ и схемы сигнализации аварийного отключения секционирующего выключателя, основанные на способе фиксации и расшифровки импульсов тока и бестоковых пауз в начале секционированных линий при работе АПВ контролируемого секционирующего выключателя.

Для автоматического определения поврежденного участка распределительной сети во вторую бестоковую паузу в циклах АПВ—АВР в Мосэнерго применяется устройство «Пауза». Устройство запоминает факт двукратного короткого замыкания при неуспешных АПВ и АВР. При помощи высокочастотных сигналов с заданными выдержками времени даются команды на отключение ближайших к месту повреждения отделителей и блокируются отделители на смежных участках сети. Высокочастотные сигналы блокировки принимаются на питающей подстанции, и по этим сигналам определяется, какой из отделителей отключился.

Указатели короткого замыкания устанавливаются в месте разветвления сети и реагируют на ток междуфазного короткого замыкания в отпайке. Наибольшее распространение в электрических сетях получили серий-

но выпускаемые указатели УПУ-1 [7]. Диапазон тока срабатывания указателя 100—300 А. Указатель УПУ-1 автоматически возвращается в исходное положение при восстановлении напряжения на линии. Указатель состоит из блока реле, контрольного контакта и переносного индикатора. Блок реле устанавливается при помощи кронштейна на опоре вблизи проводов линии. Контрольный контакт устанавливается на опоре на уровне 2,8—3 м от земли и соединяется с блоком реле двумя проводами. Срабатывание указателя проверяется контрольным индикатором, укрепленным на изолирующей штанге. При проверке индикатор присоединяется к контрольному контакту.

В Белглавэнерго разработан указатель поврежденного участка УПУ, в Мосэнерго АУПН-1. Отбор информации для этих указателей осуществляется от трансформаторов тока, установленных в двух фазах. Индикатор срабатывания в этих указателях представляет собой электро-механическое сигнальное устройство с визуальным наблюдением.

Указатель короткого замыкания УКЗ-1 [24] состоит из двух бесконтактных блоков (рис. 8), индикационного датчика ИД, который крепится к опоре между проводами П линии, и блока магнитной памяти БМП, который установлен в нижней части опоры. Заряд конденсатора блока возврата БВ в нормальном режиме обеспечивается через антенну А. Индукционный датчик воспринимает бросок тока в аварийном режиме и дает сигнал на блок срабатывания БС. При этом конденсатор разряжается через обмотку блока памяти, перемагничивая его. Место короткого замыкания определяется по отклонению

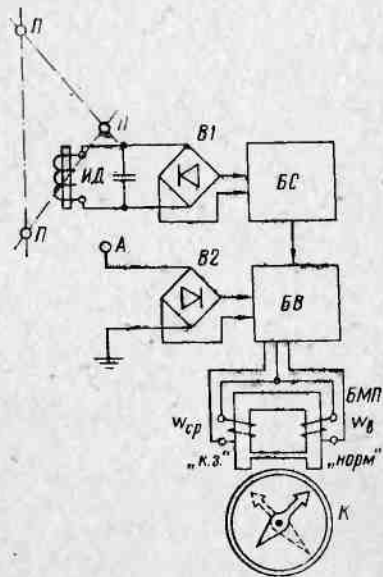


Рис. 8. Блок-схема указателя короткого замыкания УКЗ-1.

стрелки компаса *K* при поднесении его к блоку магнитной памяти БМП.

Наиболее частым видом замыкания в сетях 6—20 кВ является однофазное замыкание на землю. О наличии замыкания на землю сигнализируют приборы, установленные на подстанциях. Токовые приборы подключаются к трансформаторам тока нулевой последовательности. Приборы, реагирующие на направление мощности нулевой последовательности, подключаются к трансформаторам тока и напряжения нулевой последовательности.

Для определения места повреждения при однофазном коротком замыкании на землю в распределительных сетях успешно применяются переносные приборы типа ОМЗ-1, «Поиск-1», ОМЗ-ЗВ, УМП-8, «Гармоника» и др. [16].

Неполнофазный режим на подстанции контролируется по несимметрии напряжения. Разработаны специальные устройства сигнализации неполнофазного режима типа УКНР-1 для установки в сети. Устройство работает на принципе индукционного измерения трехфазных токов без подсоединения к проводам линии 6—20 кВ. Минимальный ток контролируемого участка линии 5 А. Напряжение питания прибора 220 В.

2. МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Общие указания по испытанию изоляции. Проверка состояния изоляции элементов распределительных сетей является одним из важнейших видов испытаний. Под воздействием напряжения и нагрева от электрического тока изоляция снижает свою электрическую прочность и изменяет электрические свойства. В изоляции из органических материалов диэлектрические потери создают дополнительный нагрев. Наличие местных дефектов в виде трещин, пустот и увлажненных участков может привести к пробое изоляции, при проверке состояния изоляции эти дефекты могут быть выявлены.

Для определения характеристик изоляции проводится комплекс испытаний. Перед началом испытаний необходимо убедиться, что на испытуемом объекте нет напряжения. Испытуемое электрооборудование и все обмотки трансформаторов заземляются для снятия возможных остаточных зарядов. Характеристики изоляции электрооборудования зависят от температуры, поэтому испытания изоляции электрооборудования и отбор пробы

трансформаторного масла из баков электрооборудования проводятся при температуре изоляции не ниже 5°С. В отдельных случаях испытания оборудования осуществляются при температуре ниже 5°С, но тогда испытания должны быть повторены при более высокой температуре при первой же возможности.

У трансформаторов характеристики изоляции изменяются не ранее чем через 12 ч после заливки масла в бак. Измерение характеристик изоляции трансформаторов производится при температуре изоляции не ниже 10°С. За температуру изоляции трансформатора, не подвергавшегося нагреву, принимается температура верхних слоев масла. Если температура изоляции ниже 10°С, трансформатор подвергается нагреву. У нагретого трансформатора температура изоляции принимается равной средней температуре фазы В обмотки ВН, определяемой по сопротивлению обмотки постоянному току. Измерение сопротивления производится не ранее чем через 60 мин после отключения нагрева обмотки током или через 30 мин после отключения внешнего нагрева. Температуру обмотки t_x вычисляется по формуле

$$t_x = \frac{R_x - R_0}{R_0} (k + t_0) + t_0,$$

где R_x — измеренное сопротивление обмотки постоянному току при температуре t_x ; R_0 — сопротивление обмотки постоянному току, определенное на заводе при температуре t_0 ; k — коэффициент (для меди $k=235$, для алюминия $k=245$).

Перед измерением наружная поверхность изоляции электрооборудования очищается от пыли и грязи.

Испытания изоляции одного и того же оборудования по возможности проводятся при одинаковой температуре и по однотипным схемам. Характеристики изоляции двухобмоточного трансформатора измеряются по следующим схемам и в следующей последовательности:

обмотка НН — заземленная обмотка ВН и корпус;
обмотка ВН — заземленная обмотка НН и корпус.

При измерениях все выводы испытываемых обмоток соединяются между собой, а остальные обмотки и корпус трансформатора заземляются. Длина проводов, соединяющих измерительные приборы с испытуемым трансформатором, должна быть по возможности минимальной, поэтому измерительные приборы располагаются в непосредственной близости от испытуемого объекта.

При сопоставлении результатов учитывается температура, при которой производились испытания изоляции, и вносится поправка.

Измерение сопротивления изоляции. В процессе эксплуатации электрооборудования происходит увлажнение и старение изоляции, появляются местные дефекты. Все это снижает сопротивление изоляции. Поэтому в эксплуатации состояние изоляции электроустановок периодически контролируется. Сопротивление изоляции измеряется мегаомметрами. Мегаомметром также можно

испытать изоляцию электроаппаратуры 0,4 кВ повышенным напряжением.

Сопротивление изоляции электрооборудования выше 1000 В измеряется мегаомметрами на напряжение 2500 В с верхним пределом измерения не ниже 10 000 МОм.

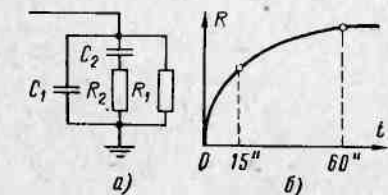


Рис. 9. Схема замещения изоляции (а) и зависимость сопротивления изоляции от времени приложения напряжения (б).

но включенных цепей (рис. 9,а). Емкость C_1 определяется геометрическими размерами изоляции. Цепь, состоящая из емкости C_2 и сопротивления R_2 , характеризует степень неоднородности материала, наличие расслоений, увлажнения. Емкость C_2 называется абсорбционной. Величина R_2 зависит от неоднородности и диэлектрических свойств изоляции. Чем лучше диэлектрические свойства изоляции, тем больше R_2 . Сопротивление R_1 определяется проводимостью (током утечки) изоляции. С увеличением влажности изоляции сопротивление R_1 уменьшается. Если к изоляции приложить постоянное напряжение, то сопротивление изоляции будет нарастать по экспоненте (рис. 9,б) с постоянной времени $\tau = R_2 C_2$. Через 60 с после приложения напряжения сопротивление изоляции, как правило, перестает изменяться, поскольку абсорбционный ток прекращается.

За сопротивление изоляции принимается показание мегаомметра через 60 с после приложения напряжения. Оценка состояния изоляции производится также по

коэффициенту абсорбции $K_{абс}$:

$$K_{абс} = \frac{R_{60}}{R_{15}},$$

где R_{15} и R_{60} — сопротивления изоляции, измеренные через 15 и 60 с соответственно после приложения напряжения.

Питание мегаомметров осуществляется от встроенного генератора, приводимого в действие рукой (М4100/1—М4100/5); от сети переменного тока напряжением 127 и

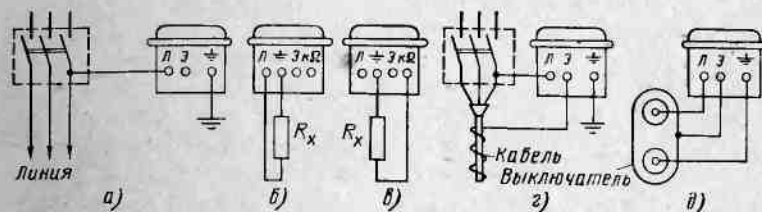


Рис. 10. Схемы включения мегаомметра.

220 В (М4101/1—М4101/5; Ф-2); от сети переменного тока или источника постоянного тока (Ф4101; Ф4100).

Перед измерением мегаомметром проверяется его исправность при разомкнутых и короткозамкнутых зажимах. В исправном приборе при вращении ручки генератора или при подключении источника питания в первом случае стрелка прибора устанавливается на отметку ∞ , во втором случае — на 0. После проверки прибора проверяется отсутствие напряжения на объекте и объект временно заземляется. Один зажим З (\perp) мегаомметра проводником соединяется с заземляющим контуром или корпусом электрооборудования, а другой Л — с испытуемым объектом (рис. 10,а). Проводники, служащие для подключения мегаомметра, должны иметь изоляцию и изолирующие рукоятки. Для проведения измерений необходимо снять временное заземление объекта.

При измерении прибором М4100/1—М4100/5 в зависимости от измеряемого сопротивления объект подключается к зажимам мегаомметра согласно рис. 10,б или в. При измерении необходимо вращать ручку генератора с частотой вращения не менее 120 об/мин. На валу якоря генератора помещен центробежный регулятор, обеспечивающий постоянство напряжения при увеличении

частоты вращения якоря выше номинальной. Отсчет производится по шкале прибора.

Измерение электронными мегаомметрами Ф4100; Ф4101; Ф-2 необходимо начинать с первого предела измерений 1×1. При нажатии кнопки «Высокое напряжение» на объект подается напряжение. Когда стрелка указателя прибора приближается к отметке шкалы ∞, диапазон измерения меняют. Для этого переключатель переводится в положение, при котором стрелка указателя установится в рабочей части шкалы. Для измерения коэффициента абсорбции отсчет показания прибора следует производить в момент, когда зажигается и затем гаснет лампа с надписью 15/60 с. По окончании измерения кнопка «Высокое напряжение» отпускается и переключатель пределов измерения устанавливается в положение 1×1. Испытуемые объекты с большой емкостью (кабели, трансформаторы и др.) необходимо разрядить и заземлить после испытаний не менее чем на 2 мин.

В случаях, если на показания мегаомметра могут влиять паразитные токи утечки, измерения производятся с использованием зажима Э (экран) мегаомметра (рис. 10, г, д). При таком включении паразитные токи утечки, в том числе по поверхности изоляции, не проходят через измерительную часть прибора и не влияют на его показания.

Результаты измерения сравниваются с данными предыдущих испытаний или с нормами. Значение сопротивления изоляции зависит от температуры и с ее повышением уменьшается. Увлажненность волокнистой изоляции определяется коэффициентом абсорбции. Для увлажненной изоляции коэффициент абсорбции близок к единице, для неувлажненной составляет 1,3—2,0. Величина $K_{аб}$ также зависит от температуры изоляции.

У объектов с малой емкостью, например изоляторов, абсорбции практически нет. В этом случае измеряют только сопротивление R_{60} .

Методика измерения сопротивления изоляции электрооборудования в лабораториях и в полевых условиях одинакова.

В электрических сетях мегаомметром производится испытание в тех случаях, когда требуется определить, какой изолятор на опоре пробился. Испытания производятся на отключенной линии. Методика определения пробитого изолятора на воздушных линиях приведена в [15].

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь и емкости. Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$, характеризующий состояние изоляции электрооборудования, пропорционален потерям энергии в диэлектрике P :

$$\text{tg } \delta = \frac{P}{\omega C U^2},$$

где P — диэлектрические потери, Вт; C — емкость объекта, Ф; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота; U — приложенное к диэлектрику напряжение, В.

Измерение $\text{tg } \delta$ позволяет следить за процессом старения, увлажнения и загрязнения изоляции. Сложная изоляция со временем расслаивается, в ней образуются воздушные прослойки, в нее проникает влага, что снижает качество изоляции и увеличивает потери в диэлектрике.

Схема замещения изоляции представлена на рис. 9.

При приложении напряжения к изоляции через нее потечет ток потерь I , сдвинутый на угол φ по отношению к напряжению.

Ток потерь имеет активную I_a и реактивную (емкостную) слагающую I_c . Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ представляет собой отношение активной составляющей тока I_a к емкостной I_c :

$$\text{tg } \delta = I_a / I_c.$$

Появление дефекта или увлажнения диэлектрика вызывает увеличение активного тока I'_a , что в свою очередь влечет за собой увеличение угла δ' (рис. 11) и $\text{tg } \delta'$. Емкостная составляющая тока практически не меняется, так как зависит в основном от геометрических размеров изоляции.

Результаты измерений $\text{tg } \delta$ используются для оценки состояния изоляции трансформаторов и вводов баковых выключателей 35 кВ, устанавливаемых в сетях 20 кВ. Значение $\text{tg } \delta$ зависит от температуры и почти не зависит от прикладываемого к изоляции напряжения (в диапазоне обычно применяемых испытательных напряжений).

Измерение $\text{tg } \delta$ основной изоляции производится при напряжении 10 кВ для электрооборудования с номиналь-

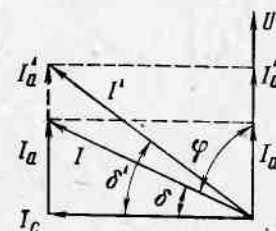


Рис. 11. Диаграмма диэлектрических потерь.

ным напряжением 10 кВ и выше и при номинальном напряжении для электрооборудования ниже 10 кВ. У силовых трансформаторов измерение $\text{tg } \delta$ производится при напряжении, не превышающем 60% заводского испытательного напряжения испытуемой обмотки, но не выше 10 кВ. Измерение $\text{tg } \delta$ изоляции трансформатора при сушке без масла производится при напряжении не выше 220 В.

Для измерения $\text{tg } \delta$ применяются измерительные мосты типов МД-16, Р595 или Р5026. Этими мостами

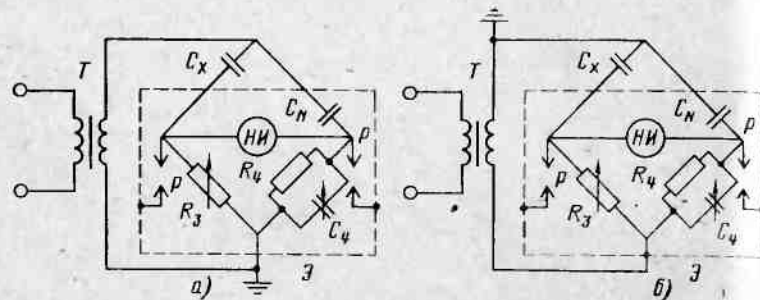


Рис. 12. Измерение диэлектрических потерь мостовым методом по нормальной (а) и по перевернутой (б) схемам.

T — испытательный трансформатор; C_x — испытываемый объект; C_N — образцовый конденсатор; R_3 — переменное сопротивление; R_4 — постоянное сопротивление; C_4 — магазин емкостей; $НИ$ — нуль-индикатор; $Э$ — экран; P — разрядник.

можно измерять диэлектрические потери как по нормальной (рис. 12, а), так и по перевернутой схеме (рис. 12, б). Нормальную схему измерения применяют для объектов, изолированных от земли. Перевернутую схему применяют для измерения диэлектрических потерь объектов, имеющих один наглухо заземленный электрод.

Емкость изоляции, мкФ, при равновесии моста определяется из выражения

$$C_x = C_N \frac{R_4}{R_3} = C_N \frac{3184}{R_3},$$

где C_N — емкость образцового конденсатора, мкФ; R_4 — сопротивление 3184 Ом; R_3 — сопротивление регулируемого плеча моста, Ом.

При равновесии моста тангенс угла диэлектрических потерь, %, определяется выражением

$$\text{tg } \delta = \omega R_4 C_4 = 100 C_4,$$

где C_4 — магазин емкостей, мкФ.

В качестве испытательного трансформатора T при измерениях используется трансформатор напряжения типа НОМ-10.

У силовых трансформаторов по результатам измерений емкости можно определить увлажненность изоляции. Метод основан на том, что емкость сухой изоляции при изменении частоты изменяется меньше, чем емкость увлажненной изоляции. Измерения производят при частотах 2 и 50 Гц приборами ПКВ-7 или ПКВ-8. Измеряют отношение C_2/C_{50} у каждой из обмоток при остальных обмотках, соединенных с корпусом и заземленных.

Испытание изоляции электрооборудования повышенным напряжением дает возможность проверить наличие необходимого запаса электрической прочности, поэтому оно является основным видом испытаний. Перед испытанием производится тщательный осмотр испытуемого оборудования и оценка состояния его изоляции другими методами. До и после испытания изоляции повышенным напряжением производится измерение сопротивления изоляции мегаомметром. Испытание повышенным напряжением проводят преимущественно на переменном токе. Испытания в стационарных лабораториях производятся при нормальных атмосферных условиях: давлении 760 мм рт. ст. (101300 Па), температуре 20°C, абсолютной влажности воздуха 11 г/м³. При полевых испытаниях, если атмосферные условия отличаются от нормальных, значение испытательного напряжения должно определяться с учетом поправки на условия испытания. Испытания повышенным напряжением переменного тока изоляции оборудования до 1000 В обычно заменяют испытанием выпрямленным напряжением 2500 В в течение 1 мин и проводят его мегаомметром.

При испытании изоляции коммутационных аппаратов напряжением выше 1000 В испытательное напряжение прикладывается между:

- токопроводящими и заземленными частями во включенном и отключенном положениях;
- токопроводящими частями соседних полюсов во включенном и отключенном положениях;
- разомкнутыми контактами одного и того же полюса при отключенном положении.

Схемы приложения напряжения при испытании масляных выключателей приведены на рис. 13.

Предохранители испытываются с патронами при не-

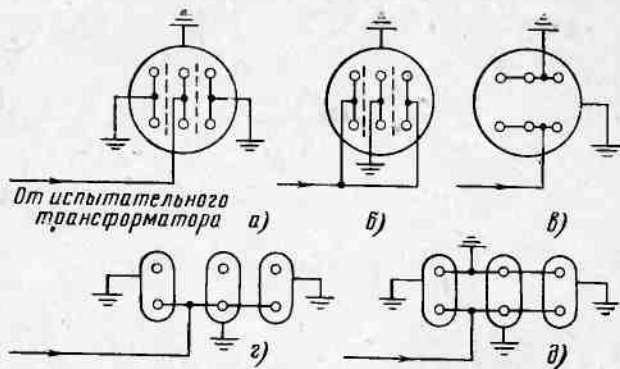


Рис. 13. Схемы испытания изоляции масляных выключателей повышенным напряжением.

а — средней фазы однобакового выключателя; *б* — крайних фаз однобакового выключателя; *в* — контактного разрыва однобакового выключателя; *г* — каждой из трех фаз трехбакового выключателя; *д* — контактного разрыва трехбакового выключателя.

перегоревших плавких вставках относительно основания и между полюсами.

При испытании изоляции электрических аппаратов напряжением до 1000 В испытательное напряжение поочередно прикладывается:

а) между соседними, электрически независимыми токоведущими частями аппарата;

б) между всеми электрически разъединяющимися в процессе работы аппарата токоведущими частями;

в) между всеми токоведущими частями и частями, к которым при нормальном обслуживании возможны прикосновения (оболочки, рукоятки);

г) между всеми токоведущими частями и заземленными частями аппарата.

Подвергаемые испытанию изоляционные детали (например, рукоятка) плотно обертываются металлической фольгой и заземляются. При испытании аппаратов напряжением до 1000 В, имеющих изоляционное основание, объект испытаний устанавливается на заземленное металлическое основание.

Изоляция испытывается при плавном подъеме напряжения. Скорость подъема напряжения до 40% от испытательного может быть произвольной; дальнейшее повышение напряжения производится плавно со скоростью около 3% испытательного напряжения в 1 с.

Снижение испытательного напряжения также производится плавно в течение 5 с до величины 25% испыта-

тельного напряжения, после чего может отключаться. Резкое снижение напряжения допускается в случаях, когда это необходимо для обеспечения безопасности людей или сохранности оборудования. Изоляция считается выдержавшей испытание повышенным напряжением, если не произошло пробоя, не было обнаружено частичных разрядов, выделения газа или дыма, резкого снижения напряжения и местного нагрева изоляции. Оборудование, не выдержавшее испытания повышенным напряжением, подлежит ремонту или замене.

Испытание воздушных линий 6—10 кВ повышенным напряжением. Значительная часть всех внеплановых отключений воздушных линий 6—10 кВ происходит из-за дефектов их изоляции. Электрический пробой изоляторов в распределительных сетях 10 кВ составляет 42% общего числа повреждений [9]. Пробой изоляторов на воздушных линиях с железобетонными опорами происходит в 5 раз чаще, чем на линиях с деревянными опорами. Для уменьшения числа отключений в некоторых энергосистемах изоляция вновь вводимых и прошедших капитальный ремонт воздушных линий 6—10 кВ испытывается повышенным напряжением. Профилактические испытания изоляции производятся на линиях, где часто имеют место случаи повреждения изоляции. Испытания производятся повышенным выпрямленным напряжением с помощью передвижных высоковольтных лабораторий. Изоляторы на железобетонных опорах и на заземленных рамах разъединителей испытываются выпрямленным напряжением относительно земли, прикладываемым одновременно ко всем фазам. Деревянные опоры являются изоляционным материалом, поэтому изоляторы на них не испытываются.

При испытаниях участков воздушных линий 6—10 кВ с отключенными трансформаторными подстанциями значение выпрямленного напряжения выбирается в соответствии с максимальным напряжением внешней изоляции и составляет 60 кВ для сетей 10 кВ и 45 кВ для сетей 6 кВ. Если линия испытывается с присоединенными трансформаторными подстанциями, испытательное напряжение определяется минимальным пробивным напряжением вентильных разрядников: 32 кВ у разрядников РВП-10 и 21 кВ у разрядников РВП-6.

Некоторые энергосистемы проводят испытания выпрямленным напряжением меньшего значения. У дефектных изоляторов 10 кВ электрическая прочность снижает-

сы до 11—17 кВ, поэтому в Ростовэнерго, например, испытывают ВЛ 10 кВ выпрямленным напряжением 20 кВ [8]. Испытательное напряжение удобно подавать в сеть через нулевую точку обмотки высокого напряжения трансформатора напряжения питающей подстанции. Во избежание выноса высокого потенциала при пробое на нулевой провод 0,4 кВ необходимо проверять расчет-

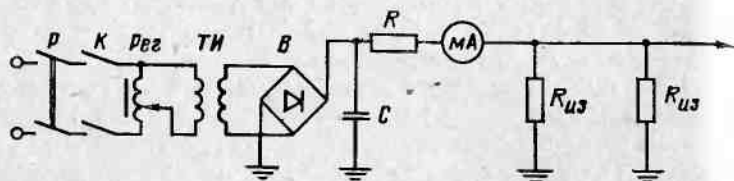


Рис. 14. Схема испытательной установки с двухполупериодным выпрямлением напряжения.

ным путем падение напряжения ΔU на контуре заземления подстанции:

$$\Delta U = I_{\text{макс}} R_{\text{з}}$$

где $I_{\text{макс}}$ — максимальный ток испытательной установки, А; $R_{\text{з}}$ — сопротивление контура заземления, Ом.

Падение напряжения не должно превышать 65 В.

При испытаниях фиксируются испытательное напряжение и ток утечки. Продолжительность испытания 5 мин. Если ток утечки в процессе испытания повышается, то испытательное напряжение не снимается до полного пробоя дефектного изолятора. Замедление роста токов утечки у дефектных изоляторов обусловлено наличием полиэтиленовых колпачков, применяемых для монтажа изоляторов на крюках. При испытаниях применяются трансформаторы, снабженные кремниевыми полупроводниковыми выпрямителями (обычно диодами Д1008А) с допустимым током 50, 75 мА и более. Выпрямители собираются по двухполупериодной мостовой схеме (рис. 14). Для снижения пульсации выпрямленного напряжения до 5—10% применяют сглаживающий конденсатор C емкостью 2—3 мкФ. Для защиты испытательной схемы от перегрузки в нее включается активное сопротивление R 10—30 кОм.

Для отыскания поврежденного изолятора используются методы определения места замыкания сети на землю, описанные в § 1. Успешно применяются приборы «Поиск-1», УМЗ, УМП-8 и др. Ток замыкания на землю

подается на поврежденную фазу через разделительный трансформатор от сети 220 В или от специального генератора частоты 250—1000 Гц. Методика определения пробитого изолятора не отличается от методики определения места замыкания на землю.

Удобно применять электромагнитный генератор частоты типа ЭГЧ-5. На частоте 250 Гц (см. § 3) он позволяет производить испытания постоянным напряжением до 60 кВ при токе утечки до 25 мА. Поэтому им можно пользоваться на линиях протяженностью до 100 км.

В Мосэнерго дефектные изоляторы на линиях 6—10 кВ с деревянными опорами определяются под рабочим напряжением при помощи контрольной штанги [15]. Штанга представляет собой бакелитовую трубку с игольчатым электродом на конце. На штанге укреплен микроамперметр с выпрямителем. Один вывод прибора соединен с иглой, а второй заземляется переносным стержнем. При измерениях штангу заземляют, иглой касаются верхнего банджа приставки или втыкают в опору (при отсутствии приставок) и отсчитывают показания микроамперметра. Через опору с поврежденным изолятором проходит ток, который фиксируется микроамперметром контрольной штанги.

Измерение сопротивления постоянному току обмоток трансформаторов может производиться измерительным мостом или методом падения напряжения. Если сопротивление обмотки больше 1 Ом, целесообразно пользоваться измерительным мостом, если меньше — методом падения напряжения. Измерения методом падения напряжения производят по схеме (рис. 15). Ток, пропускаемый через обмотку при измерениях, не должен превышать 20% номинального тока обмотки.

Вольтметр V включают после достижения установившегося значения тока, а отключают до отключения тока. Отсчет показаний приборов производят при установившихся значениях тока. Измеряют сопротивление между линейными зажимами (линейное сопротивление) на всех ответвлениях. Если имеется нулевой вывод, вместо линейных сопротивлений можно измерять фазные сопротивле-

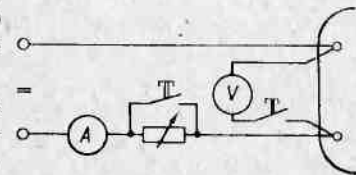


Рис. 15. Схема измерения сопротивления обмоток постоянному току.

ния. При измерениях определяется температура обмоток трансформаторов. Для трансформаторов, находящихся в помещении не менее 10 ч, за температуру обмотки принимают температуру окружающего воздуха. Сопротивление обмотки, измеренное при температуре ϑ °С, можно привести к другой температуре ϑ_x по формуле

$$R_x = \frac{R(k + \vartheta_x)}{k + \vartheta},$$

где R_x — сопротивление при температуре ϑ_x ; k — коэффициент (для меди $k=235$, для алюминия $k=245$).

Проверка коэффициента трансформации трансформаторов производится у всех фаз и на всех ответвлениях обмоток. Для определения коэффициента трансформации применяется метод двух вольтметров. По этому методу одновременно измеряются напряжения обмоток высшего и низшего напряжения вольтметрами класса точности не ниже 0,5. Подводимое напряжение не долж-

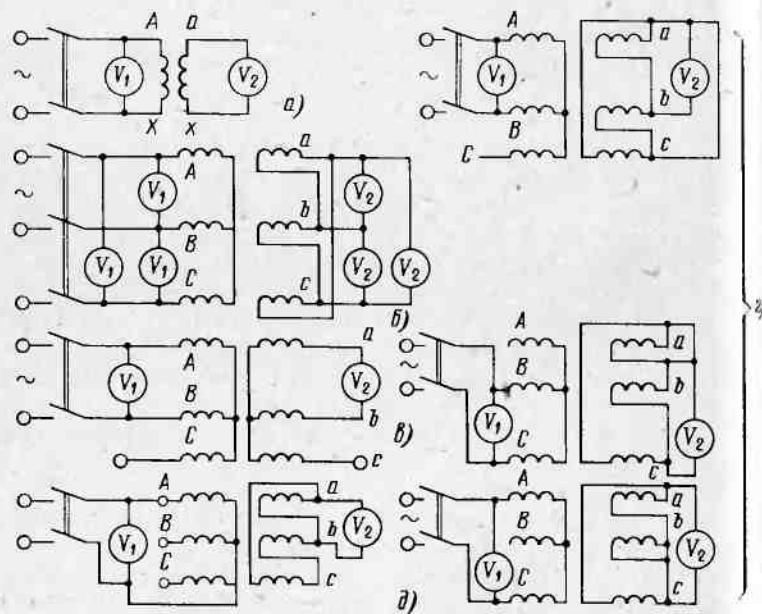


Рис. 16. Схемы измерения коэффициента трансформации силовых трансформаторов.

но превышать номинального напряжения трансформатора. Нижний предел подводимого напряжения должен составлять не менее 1% номинального напряжения обмотки. Обычно измерение коэффициента трансформации производится при подаче напряжения 220 или 380 В на обмотку высшего напряжения. На рис. 16,а приведена схема измерения коэффициента трансформации однофазных трансформаторов. Коэффициент трансформации k определяется по отношению показаний U_1 вольтметра V_1 и U_2 вольтметра V_2 :

$$k = U_1 / U_2.$$

Коэффициент трансформации трехфазных трансформаторов можно измерить, подавая на обмотку высшего напряжения трехфазное или однофазное напряжение. При испытании трехфазных трансформаторов измеряют линейное напряжение на одноименных зажимах обеих обмоток (рис. 16,б). Коэффициент трансформации определяется по отношению показаний вольтметров:

$$k = \frac{U_{AB}}{U_{ab}}; k = \frac{U_{BC}}{U_{bc}}; k = \frac{U_{CA}}{U_{ca}}.$$

Коэффициент трансформации можно определить также по фазным напряжениям одноименных фаз.

При испытании трехфазных трансформаторов с соединением обмоток «звезда» — «звезда» по однофазной схеме (рис. 16,в) питание подводится поочередно ко всем линейным выводам, и коэффициент трансформации определяется по отношению показаний вольтметров линейных напряжений.

Коэффициент трансформации трансформатора с соединением обмоток «звезда—треугольник» по однофазной схеме (рис. 16,г) определяют при поочередном закорачивании одной из фаз обмотки, соединенной в треугольник. Измерения производятся на свободной паре фаз. Коэффициент трансформации определяют по формуле

$$k = \sqrt{3} k_\phi,$$

где

$$k_\phi = \frac{U_{AB}}{2U_{ab}}; k_\phi = \frac{U_{AC}}{2U_{ac}}; k_\phi = \frac{U_{CB}}{2U_{cb}}.$$

При определении коэффициента трансформации трансформатора с соединением обмоток «звезда с нуле-

вым выводом — «треугольник» по однофазной измерительной схеме напряжение подводится поочередно к каждой фазе (рис. 16, д). Обмотки закорачивать в этом случае не нужно. Коэффициент трансформации определяют по показаниям обоих вольтметров:

$$k = \frac{U_{A0}}{U_{ab}}; k = \frac{U_{B0}}{U_{bc}}; k = \frac{U_{C0}}{U_{ca}}$$

Измерение коэффициента трансформации трансформаторов напряжения проводится по аналогичной методике.

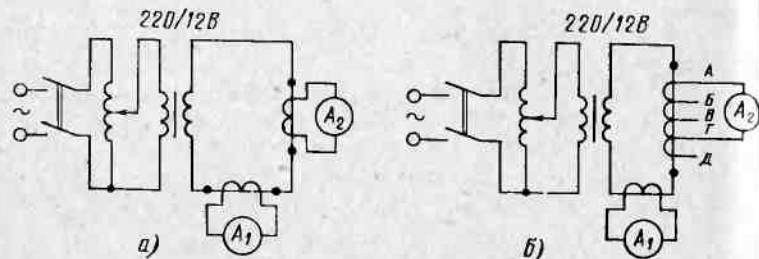


Рис. 17. Схемы измерения коэффициентов трансформации трансформаторов тока.

а — опорных и проходных; б — встроенных.

Измерение коэффициента трансформации выносных трансформаторов тока производится по схеме на рис. 17, а, а встроенных — по схеме на рис. 17, б. Ток в первичной обмотке должен быть не менее 20% номинального. Коэффициент трансформации $K_{\text{ТТ}}$ определяется по формуле

$$k_{\text{ТТ}} = \frac{I_1}{I_2}$$

где I_1, I_2 — ток соответственно в первичной и вторичной обмотках.

Определение полярности обмоток трансформаторов. Полярность выводов обмоток обуславливается направлением намотки витков обмоток и их взаимным расположением на магнитопроводе. У обмоток, имеющих одинаковое направление намотки, все начала располагаются с одной стороны, а концы — с другой. Считается, что векторы напряжения этих обмоток имеют одно и то же направление. У обмоток, имеющих разные направления намотки, начала и концы располагаются с разных

сторон. Считается, что векторы напряжения этих обмоток противоположны.

Определение полярности обмоток производится по схеме на рис. 18 с помощью гальванометра. К выводам А и X обмотки высшего напряжения через рубильник подключается источник постоянного тока (аккумуляторная батарея). К выводам а и x подключается гальванометр с нулевой точкой посередине. В момент замыкания рубильника определяется знак отклонения гальванометра.

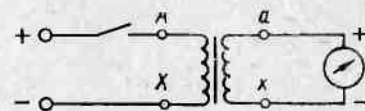


Рис. 18. Схема определения полярности обмоток трансформаторов.

Определение группы соединения обмоток трансформаторов производится методом постоянного тока. Один из зажимов источника напряжением 2—12 В присоединяется к выводу одной фазы обмотки высшего напряжения трансформатора, например фазы В, а второй — к электрически соединенным выводам двух других фаз, например А и С (рис. 19, а). В обмотку высшего напряжения подается импульс постоянного тока. Измерение производится прибором постоянного тока, поочередно

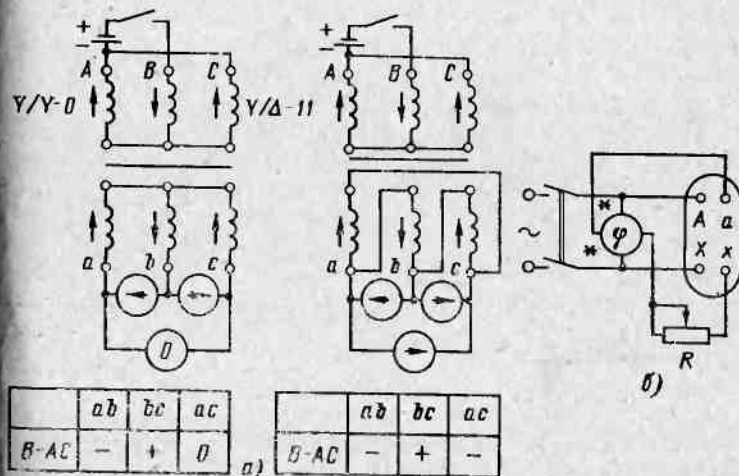


Рис. 19. Схема определения группы соединения обмоток трансформаторов.

а — методом постоянного тока; б — фазометром.

присоединяемым к выводам ab , bc , ac обмотки низшего напряжения. Прибором определяется полярность выводов в момент подачи на обмотку ВН напряжения от источника. Комбинация полярностей для различных групп соединения приведена в табл. 1.

Таблица 1

Группы соединения обмоток трансформаторов

Группа соединения обмоток	Обмотка			Группа соединения обмоток	Обмотка		
	ab	bc	ac		ab	bc	ac
1	—	+	+	0	—	+	0
7	+	—	—	6	+	—	0
3	+	+	+	2	0	+	—
9	—	—	—	8	0	—	+
5	+	—	+	4	+	0	—
11	—	+	—	10	—	0	—

Группа соединений обмоток также может быть определена фазометром [10]. Схема измерения фазометром показана на рис. 19,б. Последовательную обмотку фазометра через реостат R подключают к выводам одной из обмоток, а параллельную обмотку — к одноименным выводам другой обмотки, на которую подается напряжение. По измеренному углу определяют группу соединения обмоток. Для трехфазного трансформатора производят два замера, подсоединяя схему к двум парам одноименных выводов трансформатора.

Измерение тока и потерь холостого хода трансформаторов. Ток и потери холостого хода однофазных трансформаторов измеряют по схеме на рис. 20,а, трехфазных трансформаторов — по схеме на рис. 20,б. При разомкнутых обмотках высшего напряжения к обмоткам низшего напряжения подводят номинальное напряжение номинальной частоты и синусоидальной формы.

Ток холостого хода I_0 выражают в процентах номинального:

для однофазных трансформаторов

$$I_0 = \frac{I_{пзм}}{I_n} 100;$$

для трехфазных трансформаторов

$$I_0 = \frac{I_A + I_B + I_C}{3I_n} 100.$$

Потери холостого хода определяются по показаниям ваттметров. Потери для трехфазного трансформатора

$$P_0 = P_1 + P_2,$$

где P_1 и P_2 — показания ваттметров по схеме измерения на рис. 20,б.

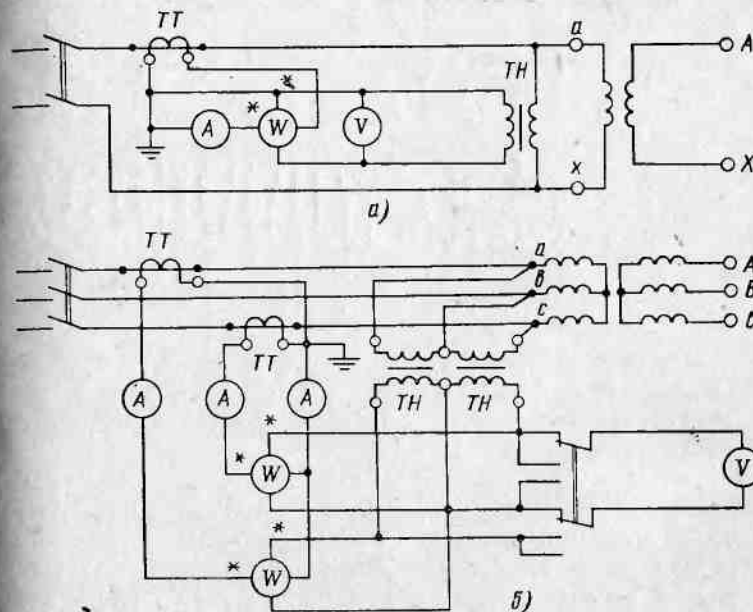


Рис. 20. Схемы включения приборов при опыте холостого хода трансформатора.

а — для однофазных трансформаторов; б — для трехфазных трансформаторов.

При холостом ходе потери в меди очень малы, поэтому можно считать, что опытом холостого хода определяются только потери в стали:

$$P_0 \approx P_{ст.}$$

Фазировка силовых трансформаторов. Перед включением силовых трансформаторов на параллельную работу должно быть проверено совпадение фаз напряжений включаемого трансформатора и сети. Фазировка заключается в определении отсутствия напряжения между одноименными фазами включаемого трансформатора и сети. В сетях 0,4 кВ фазировка производится с помощью

вольтметра (рис. 21) или ламп накаливания. В сетях 6—20 кВ фазировка производится с помощью комплекта для фазировки (см. рис. 33 и 34). Перед фазировкой проверяют исправность комплекта прикосновением к токоведущей части, находящейся под напряжением. При фазировке щупом указателя прикасаются к фазе одной

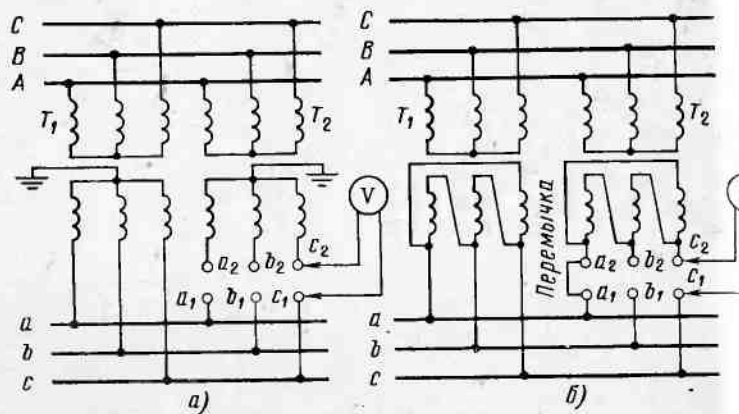


Рис. 21. Фазировка силовых трансформаторов на низком напряжении.

части электроустановки, а щупом трубки с дополнительными сопротивлениями — к фазе другой части электроустановки. Если фазы одноименны, то разность потенциалов между частями электроустановки близка к нулю и лампочка указателя не светится. В том случае, если фазы разноименны, комплект фазировки оказывается под линейным напряжением и лампочка указателя светится ярким светом.

Снятие характеристик намагничивания трансформаторов тока производится для проверки отсутствия витковых замыканий в обмотках этих аппаратов. Характеристика представляет собой зависимость подводимого ко вторичной обмотке напряжения U_2 от тока намагничивания: $U_2 = f(I_{\text{нам}})$. Схема снятия характеристик намагничивания приведена на рис. 22, а. При измерениях особое значение имеет способ регулирования напряжения. От него зависит степень искажения формы кривой подводимого напряжения и тока намагничивания. Меньшие искажения вносят автотрансформаторы РНО. Характеристики трансформаторов тока снимаются одина-

ковыми приборами, что дает возможность сравнивать их с характеристиками однотипных трансформаторов тока и с результатами предыдущих измерений. Характеристики снимаются при разомкнутой первичной обмотке. Ток намагничивания при измерениях должен достигать номинального или начала насыщения. Фиксируется

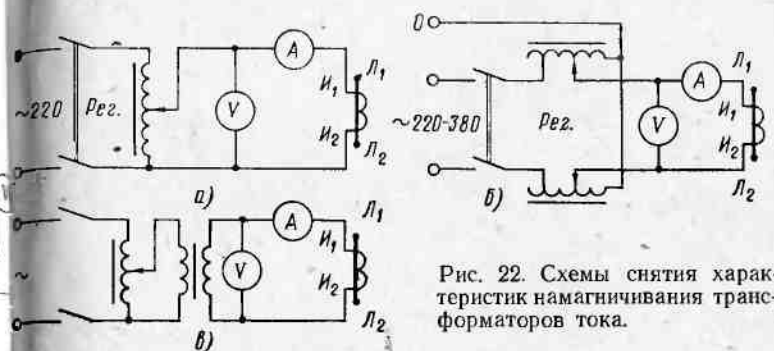


Рис. 22. Схемы снятия характеристик намагничивания трансформаторов тока.

6—10 точек характеристики намагничивания. Если к трансформатору тока требуется подвести напряжение свыше 380 В, можно пользоваться схемой с двумя автотрансформаторами (рис. 22, б) или повышающим трансформатором напряжения (рис. 22, в).

Оценка исправности трансформатора тока производится путем сравнения характеристик намагничивания, снятых при испытаниях, с типовой характеристикой, а также с характеристиками, полученными при предыдущих испытаниях, или с характеристиками однотипных трансформаторов тока. Характеристика намагничивания $U_2 = f(I_{\text{нам}})$ отличается от типовой вольт-амперной характеристики $E_2 = f(I_{\text{нам}})$ более низким расположением за счет падения напряжения в сопротивлении вторичной обмотки Z_2 от тока намагничивания $I_{\text{нам}}$:

$$E_2 = U_2 - I_{\text{нам}} Z_2.$$

Допускается отклонение снятой характеристики от типовой не более чем на 20%. При неисправности магнитопровода или витковых замыканиях характеристика поврежденного трансформатора тока располагается ниже, чем типовая.

Испытание электрических контактов. Основной контроль за контактами — измерение переходного сопротивления постоянному току. Сопротивление контактов из-

меряется разными методами [26]. Непосредственно сопротивление контактов измеряют микроомметром типа М-246. Методом амперметра — вольтметра сопротивление определяется косвенно. Широко распространен метод одинарного моста (мост Уитстона) или двойного моста (мост Томсона).

Перед измерением переходного сопротивления контактов коммутационных аппаратов производится их включение и отключение не менее чем 5 раз. При этом поверхности контактов самоочищаются и их переходное сопротивление уменьшается.

Сопротивление постоянному току контактной системы коммутационных аппаратов измеряется у всех фаз. Если коммутационный аппарат имеет главные и дугогасительные контакты, измеряются вся контактная система фазы и отдельно дугогасительные контакты.

Контроль одновременности замыкания и вжима контактов. Неодновременное замыкание и размыкание контактов коммутационных аппаратов, особенно выключателей, может привести к оплавлению контактов. Схемы проверки одновременности замыкания контактов в зави-

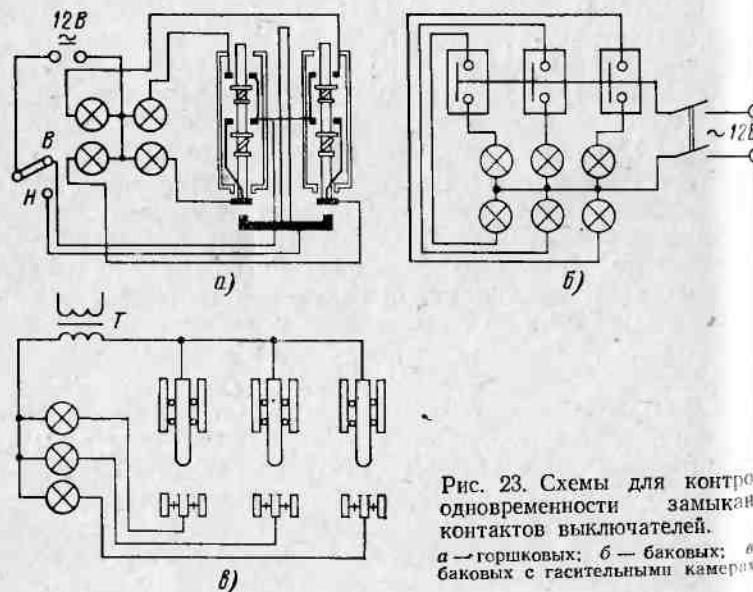


Рис. 23. Схемы для контроля одновременности замыкания контактов выключателей. а — горшковы; б — баковых; в — баковых с гасительными камерами.

симости от числа разрывов в контактной системе показаны на рис. 23. Выключатель включается медленно от руки до первого соприкосновения контактов, которое определяется по загоранию одной из контрольных ламп. При этом на направляющем устройстве наносится отметка. Вторая отметка наносится после загорания всех ламп. Расстояние между отметками определяет разновременность замыкания контактов. Регулировка одновременности замыкания производится в соответствии с нормами или заводской инструкцией.

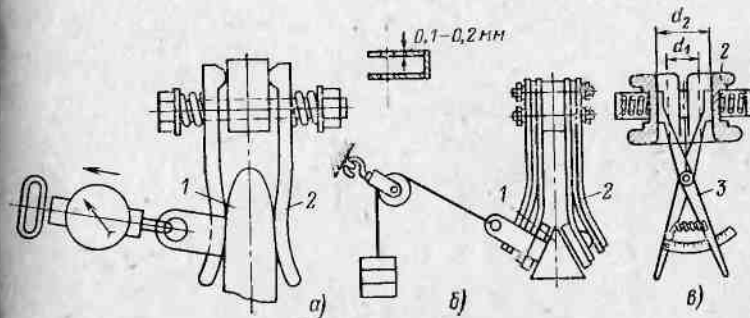


Рис. 24. Измерение нажатия контактов динамометром (а), грузом (б) и динамометром-циркулем (в).

1 — нож подвижного контакта; 2 — пластины неподвижного контакта; 3 — динамометр-циркуль.

Проверка поверхности соприкосновения контактов производится щупом. Измерение вжима контактов производится динамометром или грузами (рис. 24). В некоторых конструкциях измерение контактного давления производится косвенно, путем определения вжима пружин, поскольку контактное давление прямо пропорционально вжиму. Усилие вытягивания ножа из неподвижного контакта разъединителя или отделителя определяется при помощи динамометра.

Измерение скорости и времени движения подвижных частей выключателя. Недостаточная скорость включения и отключения подвижных контактов выключателей снижает отключающую способность выключателей, а большая скорость вызывает увеличенные механические ударные нагрузки. Скорость движения подвижных контактов выключателя определяется по виброграмме, которая снимается с помощью электромагнитного виб-

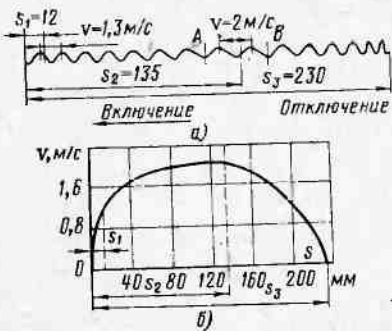


Рис. 25. Характеристика скорости включения выключателя.

a — виброграмма; *b* — кривая скорости включения; s_1 — ход в контактах; s_2 — ход в камере; s_3 — полный ход траверсы.

В различные моменты определяется как средняя для данного небольшого участка

$$v = s/t,$$

где s — длина участка пути, м; t — время движения на этом участке, с.

Чтобы получить наибольшую точность измерений в момент замыкания или размыкания контактов и при выходе из гасительной камеры, виброграмма разделяется на участки. Длина каждого участка измеряется линейкой, а время движения определяется по числу периодов колебаний. По полученным значениям скорости на отдельных участках виброграммы строится кривая. Регулировка выключателя считается нормальной, если скорость при ходе в контактах и в камере не отличается от заводских данных более чем на $\pm 10\%$.

Проверка минимального напряжения срабатывания электромагнитов приводов выключателей производится пофазно. Минимальное напряжение срабатывания электромагнитов привода измеряется по схемам на рис. 26. С помощью реостата подбирается минимальное напряжение, при подаче которого толчком электромагнит срабатывает. Необходимо учитывать, что электромагниты не рассчитаны на прохождение тока в течение длительного времени.

ратора (рис. 25). По виброграмме также определяют ход и время движения подвижных контактов выключателя. Ход траверсы определяется непосредственным измерением длины виброграммы s_3 . Время движения подвижных контактов выключателя определяется подсчетом периодов виброграммы. Каждый период на виброграмме равен 0,01 с. Скорость движения подвижных контактов на всем пути различна. По виброграмме скорость

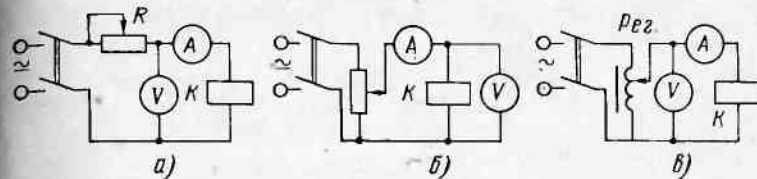


Рис. 26. Схема проверки напряжения и тока срабатывания катушек приводов выключателя.

a — реостатом; *b* — потенциометром; *в* — автотрансформатором.

Проверка действия расцепителей автоматов. На месте установки автоматов проверяется соответствие фактических уставок расцепителей их номинальным данным. Тепловые элементы проверяются на срабатывание при однополюсной нагрузке испытательным током, равным 2- или 3-кратному номинальному току расцепителя автомата. Затем тепловые элементы проверяются тем же током в трехфазном режиме. Также в трехфазном ре-

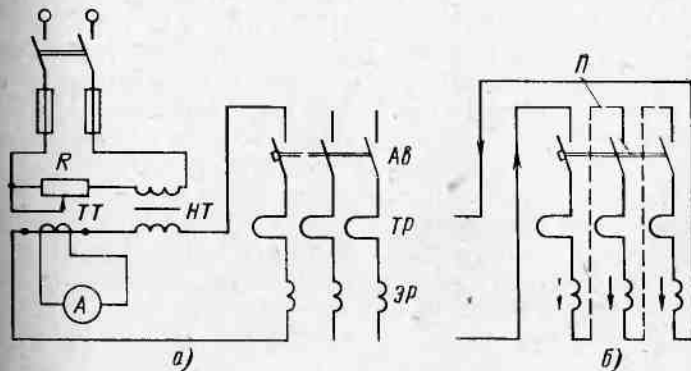


Рис. 27. Схемы проверки тепловых и электромагнитных расцепителей автоматов.

a — включение одной фазы; *b* — включение трех фаз; *HT* — нагрузочный трансформатор; *TP* — тепловой расцепитель; *ЭР* — электромагнитный расцепитель; *AB* — автомат; *П* — перемычка.

жиме определяются начальные токи срабатывания расцепителей. Ток срабатывания расцепителя должен находиться в нормируемых пределах. Схемы испытания расцепителей автоматов приведены на рис. 27.

Проверка электромагнитных элементов производится у каждого полюса автомата отдельно. Испытательный ток подводят от нагрузочного устройства. Вначале он

должен быть ниже тока уставки. Затем испытательный ток повышают до тока отключения автомата. Ток срабатывания должен соответствовать нормам.

Измерение тока проводимости и пробивного напряжения вентиляных разрядников. Ток проводимости измеряется при приложении к разряднику выпрямленного напряжения. Схема измерения приведена на рис. 28,а. Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения применяют конденсатор $C \geq 0,05$ мкФ. Ток проводимости измеряется микроамперметром, включенным в цепь заземления разрядника *PВ*. Испытательное напряжение измеряется на стороне низкого напряжения испытательной установки вольтметром или на стороне высокого напряжения киловольтметром. Можно определять его по току, проходящему через специальное нелинейное сопротивление *НС*.

Измерение пробивного напряжения разрядника производится на переменном токе по схеме на рис. 28,б.

Измерение сопротивления заземляющих устройств производится прибором М416 (рис. 29). Генератором прибора создается искусственная цепь тока через испытуемый заземлитель R_x и вспомогательный заземлитель R_B . Последний присоединяют к зажиму 4 прибора. Для измерения падения напряжения в сопротивлении испытуемого заземлителя необходим потенциальный заземлитель R_3 (зонд). Он присоединяется к зажиму 3. Взаимное расположение заземлителей и минимальные расстояния между ними приведены на рис. 30. В качестве электродов применяются стальные небкрашенные стержни диаметром 10—20 мм, длиной 0,8—1 м. Электроды забивают в грунт на глубину не менее 0,5 м пря-

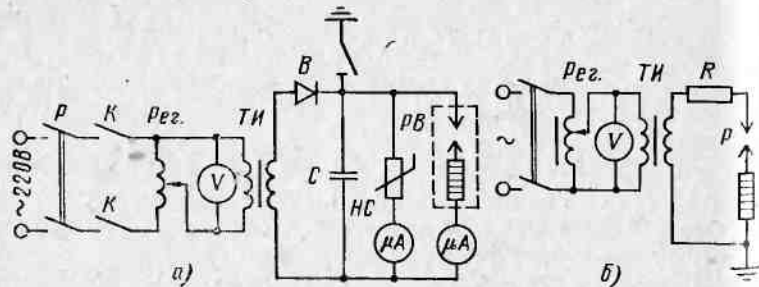


Рис. 28. Схемы испытаний вентиляльных разрядников.
а — измерение тока проводимости; б — измерение пробивного напряжения.

мыми ударами или ввертывают, стараясь не раскачивать. Все соединения выполняются изолированными проводами, протянутыми по земле. Перед измерением производят компенсацию сопротивления зонда.

Для измерения больших сопротивлений зажимы 1 и 2 (см. рис. 29) соединяют перемычкой и присоединяют к измеряемому объекту, зажим 4 подсоединяют к вспомогательному заземлителю, а зажим 3 — к зонду. При измерениях малых сопротивлений (доли ома) для исключения погрешности, вносимой сопротивлениями соединительных проводов и контактов, каждый из зажимов 1 и 2 присоединяют к измеряемому объекту.

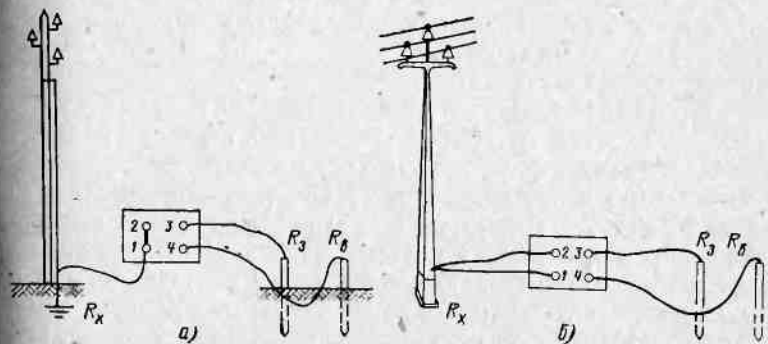


Рис. 29. Схемы включения измерителя заземления.
а — для измерения больших сопротивлений; б — для измерения малых сопротивлений.

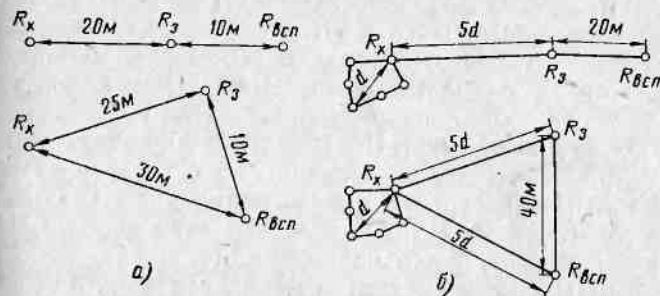


Рис. 30. Минимальное расстояние между испытательными и вспомогательными заземлителями.

а — при измерении сопротивления одиночного заземлителя или сосредоточенного устройства заземления; б — при измерении сопротивления сложных заземлителей.

Испытание трансформаторного масла. Проба масла отбирается в стеклянные банки или бутылки емкостью 0,5 или 1,0 л со стеклянными пробками. Бутылки для взятия проб подготавливает лаборатория, которая производит анализ. Бутылки моют мылом или щелочным раствором, затем тщательно прополаскивают и дают стечь воде. После этого их сушат теплым сухим воздухом или выдерживают 2 ч в сушильном шкафу при температуре 90°C. После остывания бутылки закрывают.

Перед взятием пробы краны и пробки очищают и осушают, после чего отверстия для выпуска масла промывают. Для этого медленно выпускают около 2 л масла и наблюдают, нет ли в нем воды или загрязнений. Затем бутылки дважды ополаскивают отбираемым маслом, заполняют доверху и закрывают. Пробу масла отбирают в сухую погоду.

Пробивное напряжение определяется на испытательных аппаратах АИИ-70 или АИМ-80. Масло заливают в специальный фарфоровый сосуд с двумя сферическими электродами диаметром 25 мм, расположенными на расстоянии 2,5 мм друг от друга. Сосуд перед испытанием ополаскивают маслом пробы. Перед заливкой подлежащее испытанию масло взбалтывают в банке и заливают в сосуд до уровня на 15 мм выше электродов. Чтобы попавшие в масло пузырьки воздуха вышли на поверхность, выжидают 10—15 мин, после чего плавно поднимают напряжение со скоростью 2—3 кВ/с до пробоя. За напряжение пробоя принимается напряжение в момент, предшествующий пробую. Пробоем считается устойчивая электрическая дуга, случайные единичные искры не учитываются. Всего производят шесть пробоев с интервалами между ними 5 мин. Напряжение пробоя определяется как среднеарифметическое значение пяти последних пробоев. Первый пробой не учитывается.

Содержание механических примесей в масле определяют визуально. Пробу масла заливают в банки из светлого стекла емкостью 0,5 л, медленно перевертывают и наблюдают в проходящем свете. Масло считают загрязненным, если имеется более 10 ворсинок или мелких частиц примесей.

При разложении масла электрической дугой образуется углистый шлак в виде черных твердых частиц, называемых взвешенным углем. Масло, содержащее взвешенный уголь, имеет синеватый оттенок и повышенную флюоресценцию. Наличие взвешенного угля определяют визуально.

Кислотное число определяют по количеству щелочи КОН, необходимой для нейтрализации 1 г масла.

Наличие водорастворимых кислот и щелочей определяют с помощью индикаторов, меняющих цвет в их присутствии.

Температурой вспышки масла называют температуру, при которой пары масла, нагреваемого в специальном приборе, образуют с окружающим воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени.

Упомянутые испытания, кроме определения пробивного напряжения, а также определения кинематической вязкости, температуры застывания, натровой пробы, стабильности и тангенса угла диэлектрических потерь, производятся в специализированных стационарных лабораториях. Методика проведения этих испытаний изложена в [21].

3. УСТРОЙСТВА, АППАРАТЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Измерительные приборы тока и напряжения. Измерения напряжений до 600 В производятся вольтметрами. Промышленность выпускает широкий ассортимент этих приборов. Пределы измеряемого напряжения увеличиваются добавочными резисторами. Напряжение выше 600 В измеряется при помощи трансформаторов напряжения, электростатическими вольтметрами и шаровыми разрядниками.

Для измерения малых напряжений (от 0,1 до 100 мВ) применяются милливольтметры или ламповые вольтметры. Для измерения напряжения в цепях переменного и постоянного тока применяют переносные вольтметры типа Э 515 электромагнитной системы. Вольтметры выпускаются в трех модификациях со следующими пределами измерения: Э515/1 на 1,5—3—7,5—15 В; Э515/2 на 7,5—15—30—60 В; Э515/3 на 75—150—300—600 В. Класс точности этих приборов 0,5. Для измерения напряжения применяется также переносной вольтметр электродинамической системы типа Д567. Класс точности его 0,5, а пределы измерения составляют 30—75—150—300—450—600 В.

Для измерений высоких напряжений при испытаниях широко применяются электростатические киловольтметры С-96 с пределами измерения 7,5; 15; 30 кВ; С-100 с пределами измерения 25; 50; 75 кВ и С-110 с пределами измерения 25; 50; 75 и 100 кВ. В лабораториях при измерении напряжения от 3 до 15 кВ применяется трансформатор напряжения типа И 50. Его номинальные первичные напряжения составляют 3, 6, 10 и 15 кВ; номинальные вторичные напряжения — $100/\sqrt{3}$ и 100 В. Класс точности 0,2.

Также применяются измерительные образцовые трансформаторы напряжения типа И510 и УТН-1.

Измерения токов производятся амперметрами (при малых значениях токов — миллиамперметрами). Для увеличения пределов измерения переменного тока применяются трансформаторы тока (ТТ), которые также дают возможность отделить измерительные цепи от первичных цепей. Для измерения в цепях переменного и постоянного тока применяют переносные амперметры типа Э514 электромагнитной системы. Эти приборы выпускаются в трех модификациях со следующими пределами измерения: Э514/1 на 1 и 2 А; Э514/2 на 2,5 и 5 А; Э514/3 на 5 и 10 А. Класс точности этих приборов 0,5. При измерении переменного тока применяют также переносной амперметр электродинамической системы типа Д570 со встроенным трансформатором тока. Приборы выпускаются в трех модификациях со следующими пределами измерения: Д570/1 на 0,1—0,2—0,5—1—2—5 А; Д570/2 на 0,5—1—2—5—10—20 А и Д570/3 — на те же пределы, но с расширенным диапазоном частоты. Приборы имеют класс точности 0,5.

Лабораторные переносные многопредельные трансформаторы тока преобразуют первичный ток в удобный для измерения ток 5А. Максимальные первичные токи для ТТ следующие: УТТ-5М до 600 А; УТТ-6М до 2000 А; И-54 до 50 А. Класс точности 0,2.

Измерительные комплекты. Измерения тока, напряжения и мощности в однофазных и трехфазных трехпроводных и четырехпроводных цепях переменного тока при равномерной и неравномерной нагрузке фаз можно произвести переносным измерительным комплектом К50 или К51. Комплекты имеют постоянно смонтированную схему для измерения тока до 50 А, напряжение до 600 В и соответствующей мощности. Соединения всех

элементов схемы выполнены постоянным монтажом внутри чемодана. Для расширения пределов измерения по току до 600 А дается блок измерительных трансформаторов тока И508. При измерении тока, напряжения и мощности в разных фазах, а также при изменении пределов измерения пользуются соответствующими переключателями. Класс точности комплектов 0,2.

Цифровые электроизмерительные приборы являются наиболее совершенным видом электроизмерительных устройств. В этих приборах измеряемая величина представляется в цифрах, что дает возможность исключить ошибки измерения. У цифровых приборов имеется кодовый выход, позволяющий регистрировать результаты измерений с помощью цифropечатающих устройств. Обработка информации в таком виде возможна непосредственным применением цифровых вычислительных машин. Для измерения синусоидального и искаженного напряжения переменного тока в диапазоне от 10 мВ до 1000 В служат вольтметры типа Ф485 и Ф486. Для измерения напряжения, тока и сопротивления постоянному току предназначен ампервольтметр типа Р386. Диапазон измерения напряжения в цепях постоянного тока от 0 до 1000 В, в цепях переменного тока — от 0 до 300 В, постоянного и переменного тока — от 0 до 1000 мА, сопротивлений постоянному току — от 0 до 10 МОм.

Мегаомметры предназначены для измерения сопротивления и коэффициента абсорбции изоляции, различных электрических устройств, не находящихся под напряжением.

Мегаомметры типов М4100/1—М4100/5 являются двухпредельными переносными приборами и выпускаются в пяти модификациях по выходному напряжению и наибольшему значению измеряемого сопротивления (табл. 2). Основная погрешность прибора не превышает 1% длины рабочей части шкалы. Питание прибора осуществляется от встроенного генератора переменного тока, приводимого во вращение рукой. Номинальная частота вращения 120 об/мин. Для выпрямления переменного тока в схеме мегаомметра используется селеновый выпрямитель. В качестве измерительного прибора применен логометр магнитоэлектрической системы.

Мегаомметр М4101/1—М4101/5 имеет те же технические характеристики, но его питание осуществляется

Таблица 2

Технические характеристики мегаомметров

Тип и модификация прибора	Пределы измерения		Рабочая часть шкалы		Номинальное выходное напряжение, В
	кОм	МОм	кОм	МОм	
M4100/1	0—200	0—100	0—200	0—20	100
M4100/2	0—500	0—300	0—500	0—50	250
M4100/3	0—1000	0—500	0—1000	0—100	500
M4100/4	0—1000	0—1000	0—1000	0—200	1000
M4100/5	0—2000	0—3000	0—2000	0—1000	2500
Ф4101	—	0—40 000	—	0—20 000	100, 500, 1000
Ф4100	—	0—100 000	—	0—50 000	2500
Ф-2	—	1—20 000	—	1—20 000	2500

от сети переменного тока напряжением 127 и 220 В. Мегаомметры M4100/1—M4100/5 и M4101/1—M4101/5 имеют ряд существенных недостатков: низкий предел измерений, сильное влияние емкости объекта (оно вызывает колебание стрелки указателя), каждая из модификаций имеет только одно рабочее напряжение.

Освоено производство комбинированного мегаомметра Ф4101, имеющего переключаемые рабочие напряжения 100, 500 и 1000 В. Весь диапазон измеряемых сопротивлений разбит на несколько пределов измерения. Основная погрешность прибора Ф4101 не более $\pm 2,5\%$. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока 127 и 220 В или от внешнего источника постоянного тока напряжением 12 В. Максимальная потребляемая мощность при питании от сети 20 В·А, потребляемый ток от источника постоянного тока — не более 0,5 А. Масса прибора 6 кг.

Многопредельный мегаомметр Ф4100 имеет номинальное рабочее напряжение 2500 В. Класс точности 2,5. Для определения коэффициента абсорбции прибор снабжен реле времени. Питание прибора осуществляется от сети 127 и 220 В или от внешнего источника постоянного тока напряжением 12 В. Масса прибора 9 кг. Пределы измерения приведены в табл. 2. Максимальная потребляемая мощность при питании от сети 20 В·А, потребляемый ток от источника постоянного тока 1 А.

Электронный мегаомметр Ф-2 состоит из источника стабилизированного напряжения и лампового вольтметра. Ламповый вольтметр измеряет падение напряжения

на эталонном сопротивлении, которое пропорционально измеряемому сопротивлению. Пределы измерения даны в табл. 2. Основная погрешность $\pm 4\%$ длины рабочей части шкалы на первых трех шкалах и $\pm 10\%$ на четвертой шкале. Питание мегаомметра осуществляется от сети переменного тока 127 и 220 В.

Измеритель заземления типа M416 предназначен для измерения сопротивления заземляющих устройств от 0,1 до 1000 Ом, а также может быть использован для определения удельного сопротивления грунта. Диапазоны измерения 0,1—10; 0,5—50; 2—200 и 10—1000 Ом. Напряжение питания прибора 4,5 В $\pm 10\%$. Ток потребления 30 мА. Переменное напряжение на зажимах прибора при разомкнутой внешней цепи 15 ± 2 В.

Принцип действия прибора основан на компенсационном методе измерения. Прибор представляет собой полупроводниковый компенсатор, состоящий из источника постоянного тока, преобразователя постоянного тока в переменный и измерительного устройства [11]. Источником питания служат три последовательно соединенных сухих элемента типа 373 («Марс»). Преобразователь напряжения состоит из задающего генератора и усилителя напряжения, а измерительное устройство — из усилителя, на входе которого включен Т-образный фильтр, а на выходе — фазочувствительный синхронный детектор и микроамперметр.

При измерениях переменный ток от преобразователя через первичную обмотку трансформатора и зажимы 1 и 4 поступает во внешнюю цепь. Вторичная обмотка трансформатора подключена через переключатель диапазонов к комбинированному резистору (реохорду), с помощью которого производится компенсация. В момент компенсации ток в цепи индикатора равен нулю. Реохорд снабжен шкалой, которая позволяет определить измеряемую величину в омах. Для расширения пределов измерения в приборе предусмотрено переключение реохорда и изменение коэффициента трансформации трансформатора. Токвые зажимы прибора обозначаются цифрами 1 и 4, а потенциальные зажимы — цифрами 2 и 3.

Микроомметр. Измерения переходных сопротивлений контактов производятся микроомметром типа M246. Им можно измерить сопротивление в диапазоне от 4 мкОм до 1 Ом. Питание прибора осуществляется от сети пе-

ременного тока 127 или 220 В или от аккумулятора на напряжении $2,5 \pm 0,5$ В. Через измеряемое сопротивление проходит ток от 0,1 до 20 А. Шкала прибора градуирована в единицах сопротивления. Для подключения прибора к измеряемым контактам предусмотрены специальные зажимы и щупы.

Наблюдались случаи повреждения прибора М246 при замыкании между собой токовых и потенциальных контактов при отсутствии тока в токовой цепи. Для предотвращения этого применяется приставка к прибо-

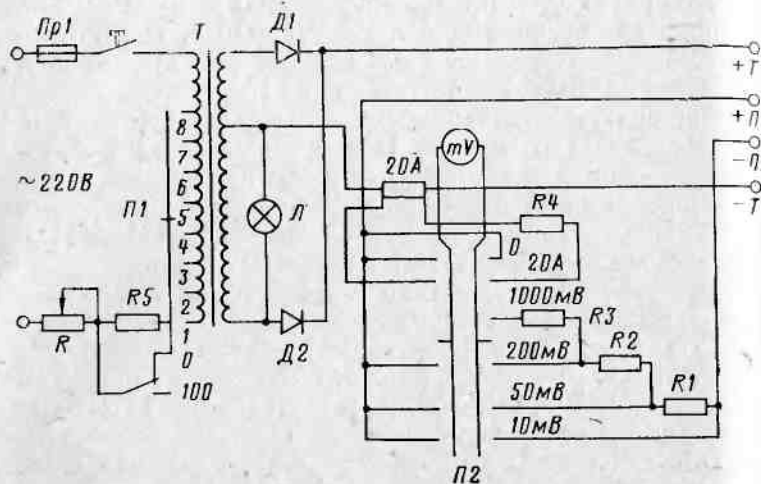


Рис. 31. Принципиальная схема микрометра типа ПКК-1.

ру [23]. В ней размещены амперметр постоянного тока на 20 А и переключатель с возвратом. Амперметр включается в токовую цепь, а переключатель размыкает потенциальную цепь. При замере сначала убеждаются, что ток действительно проходит через измеряемые контакты, и только затем нажимают переключатель, подавая напряжение на рамку прибора.

Микроамперметры М246 недостаточно надежны и часто повреждаются, особенно при транспортировке. Поэтому они широко не применяются.

Для измерения сопротивления постоянному току контактов выключателей, разъединителей и другой аппаратуры в системе Мосэнерго получил распространение микрометр типа ПКК-1 [19] с пределами изме-

рения от 5 мкОм до 0,05 Ом. Принципиальная схема микрометра приведена на рис. 31. Микрометр работает на принципе пропускания через контакты фиксированного тока 20 А и измерения падения напряжения на них. В микрометре в качестве измерителя использован милливольтметр М-109 класса точности 0,5 с пределами измерения на 10—50—200—1000 мВ. Для измерения тока используется этот же милливольтметр с шунтом 75ШС на 20 А. Конечные значения шкалы прибора для каждого предела измерения равны 500—2500—10000—50000 мкОм. Переключение пределов измерения осуществляется переключателем П2. Магнитопровод трансформатора Т мощностью 140 В·А выполнен из трансформаторной стали Ш-25. Сечение магнитопровода 25×50 мм. Первичная обмотка имеет $725 + 75 + 75 + 75 + 75 + 75 + 75 = 1250$ витков и намотана проводом марки ПЭВ-1 диаметром 0,51 мм. Вторичная обмотка имеет 2×20 витков и намотана проводом ПЭВ-1 диаметром 2,44 мм. Грубая регулировка рабочего тока производится переключателем П1 и резистором R5, а плавная — реостатом R. В качестве выпрямителей использованы диоды Д215А, включенные по два параллельно. Проводники токовой цепи присоединяются к зажимам +Т, -Т; проводники потенциальной цепи — к зажимам +П, -П.

Мост для измерения диэлектрических потерь. Для измерения в эксплуатационных условиях тангенса угла диэлектрических потерь и емкости изоляции электроаппаратуры применяются мосты Р595 и Р5026. Измерения производятся при температуре окружающего воздуха от -10 до $+40^\circ\text{C}$. Мосты имеют пределы измерения: по $\text{tg } \delta$ от 0,5 до 100%; по емкости от $3 \cdot 10^{-5}$ до 1 мкФ. Питание мостов осуществляется от трансформатора напряжения 10 кВ, который подключается к сети переменного тока 127 и 220 В. В состав мостов входит образцовый конденсатор с емкостью $C_N = 0,5 \cdot 10^{-4}$ мкФ.

Принципиальная схема мостов приведена на рис. 12. В мостах применен нуль-индикатор, состоящий из транзисторного усилителя и микроамперметра. Чувствительность нуль-индикатора в начале шкалы больше, чем в конце ее. Чувствительность нуль-индикатора изменяется скачкообразно, поэтому при уравнивании моста на каждой из ступеней необходимо добиваться возвращения прибора к нулю (кроме максимальной чувст-

вительности) и только после этого увеличивать чувствительность нуль-индикатора. При установке регулятора на ступень, соответствующую максимальной чувствительности, стрелка прибора может отклониться на 10—15 делений под воздействием напряжения собственных шумов усилителя.

Приборы для измерения времени. Для измерения времени в пределах 0,1—10 с применяют электрические секундомеры типа ПВ-53Л. Питание подводится к зажимам * и 110 или 220 В в зависимости от напряжения сети.

Остановить секундомер можно, отключая его от сети или шунтируя поляризованное реле при замыкании накопительно-зажимов * и 0.

Для измерения сотых и тысячных долей секунды применяют электронный миллисекундомер типа ЭМС-54. Шкала прибора градуирована в миллисекундах. Миллисекундомер ЭМС-54 имеет пять пределов измерений времени: 0—25, 0—50, 0—100, 0—250, 0—500 мс. Напряжение питания 110, 127 и 220 В переменного тока.

Прибор для измерения скорости работы выключателей. Для измерения скорости включения и отключения выключателей применяется электромагнитный вибратор, приведенный на рис. 32 [20]. Якорь вибратора колеблется с удвоенной частотой питающей сети, т. е. каждый период колебания вибратора равен 0,01 с.

Сердечник вибратора сечением 12×25 мм набран из трансформаторной стали П-образной формы. Катушка

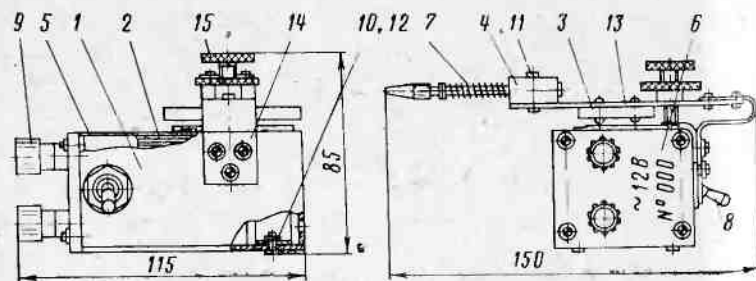


Рис. 32. Вибратор.

1 — корпус; 2 — сердечник и катушка; 3 — якорь; 4 — держатель; 5 — гетинаксевая пластина; 6 — панель; 7 — пишущее устройство; 8 — выключатель; 9 — зажим; 10, 12 — винты для крепления сердечника с катушкой; 11 — винты для крепления пишущего устройства; 13 — пластина; 14 — скоба; 15 — регулировочный винт с контргайкой.

имеет 150 витков и намотана проводом ПЭВ-1 диаметром 1,05 мм. Питается вибратор от сети переменного тока напряжением 12 В, его потребление составляет 4,5—6 А. Пишущее устройство 7 состоит из цанги от говальни, пружины, втулки и держателя 4. Регулировка амплитуды пишущего устройства производится с помощью регулировочного винта 15.

Для снятия виброграмм вибратор прикрепляется к раме выключателя, а специальная планка с полосками плотной бумаги крепится к подвижной части выключателя. Вибратор устанавливается так, чтобы грифель пишущего устройства прилегал к поверхности бумажной ленты и при работе производил колебания поперек нее. При движении бумажной ленты вместе с подвижной частью выключателя грифель пишущего устройства вычерчивает на ленте синусоидальную кривую с периодами различной длины. По этой виброграмме определяется ход, время и скорость движения подвижных частей выключателя (рис. 25).

Устройства для фазировки в сетях 6—20 кВ трансформаторов и воздушных линий с изолированной нейтралью должны быть рассчитаны на двойное линейное напряжение. Для фазировки трансформаторов, до 10 кВ используются два указателя напряжения, в одном из которых вместо конденсатора и неоновой лампы встроены резисторы 3—4 МОм для напряжения 6 кВ и 5—7 МОм для напряжения 10 кВ (рис. 33). Зажимы обоих указателей соединены гибким проводом с усиленной изоляцией типа ПВЛ или ПВГ.

В электрических сетях 6—10 кВ фазировка воздушных линий часто выполняется на линейных разъединителях. Применение стандартного указателя при этом вызывает определенные затруднения, поэтому в Мосэнерго разработаны и изготавливаются указатели, у которых дли-

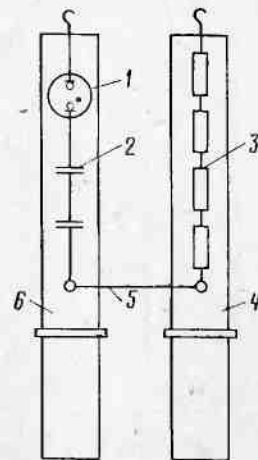


Рис. 33. Устройство для фазировки в сетях 6—10 кВ.

1 — неоновая лампа; 2 — конденсатор; 3 — резистор; 4 — трубка с резистором; 5 — соединительный провод; 6 — указатель напряжения.

на рабочей части и трубки с добавочным сопротивлением увеличена с 340 до 700 мм [27]. Соответственно увеличены длины звеньев, содержащих изолирующую часть и рукоятку. Общая длина указателя составляет 1400 мм.

В Латвийской энергосистеме разработано и применяется устройство F-20, предназначенное для фазировки трансформаторов и воздушных линий напряжением 20 кВ при разнице напряжений не более 4 кВ. Устройство

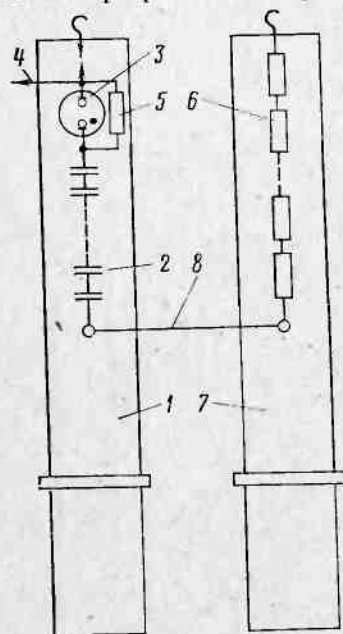


Рис. 34. Устройства для фазировки в сетях 20 кВ.

1 — указатель напряжения; 2 — конденсаторы ПОВ 390, 15 кВ 6 шт.; 3 — неоновая лампа ТНУВ; 4 — вывод для проверки неоновой лампы; 5 — резистор МЛТ-0,5 4,7 МОм; 6 — резисторы МЛТ-2 470 кОм, 40 шт.; 7 — трубка с дополнительными резисторами; 8 — соединительный провод.

состоит из указателя напряжения, трубки с дополнительными резисторами и соединительного провода (рис. 34).

Напряжение зажигания неоновой лампы в схеме согласного включения не ниже 28 кВ; напряжение отчетливо видимого свечения неоновой лампы в схеме встречного включения не ниже 4 кВ. Значение тока, протекающего через трубку с сопротивлениями, не более 1,2—1,4 мА. Длина указателя напряжения и трубки с дополнительными резисторами в собранном виде 1550 мм.

Для определения одноименных фаз щупом указателя прикасаются к фазе одной части электроустановки, а щупом трубки с дополнительными резисторами — к фазе другой части электроустановки. Если фазы разноименны, прибор оказывается под линейным напряжением, через лампочку указателя проходит ток, и она ярко загорается. Если фазы одноименны, прибор оказывается под разностью потенциа-

лов, близкой к нулю, и лампочка не горит. Фазировку производят двое.

Для проверки исправности комплекта фазировки в собранном виде необходимо перед использованием сначала

коснуться крюком указателя напряжения токоведущих частей, находящихся под напряжением, при этом лампочка должна загореться. Затем, не снимая указателя напряжения, следует коснуться той же части крюком трубки с дополнительными резисторами. Лампочка при этом должна погаснуть. Исправность неоновой лампы можно проверить также прибором (типа ППИ-4). Для удобства наблюдения за свечением неоновой лампы (особенно в солнечную погоду) указатель снабжается затенителем с зеркалом.

Приборы для контроля цепи фаза — нуль. В установках до 1000 В с глухим заземлением нейтрали ток однофазного короткого замыкания на корпус или нулевой провод должен обеспечивать надежное срабатывание защиты. Проверку цепи фаза — нуль следует производить измерением полного сопротивления петли фаза — нуль или непосредственным измерением тока однофазного короткого замыкания.

Для измерения сопротивления цепи фаза — нуль без отключения напряжения выпускается прибор М417. С его помощью измеряется падение напряжения, пропорциональное сопротивлению цепи фаза — нуль, поэтому шкала прибора градуирована в омах. Диапазон измерения 0,1—2 Ом. Основная погрешность $\pm 10\%$ от длины рабочей части шкалы. Прибор обеспечивает автоматическое размыкание измеряемой цепи на время не более 0,3 с.

В Латвийской энергосистеме применяется измеритель тока однофазного короткого замыкания, предназначенный для работы на воздушных линиях 0,4 кВ с током однофазного короткого замыкания до 1000 А (рис. 35). Фаза линии и нулевой провод закорачиваются включением автомата А. Через 0,06 с от реле Р автомат отключается. Время отключения автомата меньше времени перегорания предохранителей. Выдержка времени устанавливается конденсатором С₁. Пусковая кнопка и блок-контакт Р₁ не допускают повторного включения автомата А. Напряжение на конденсаторе С₂ зависит от тока короткого замыкания. Его измеряют высокоомным вольтметром.

Более совершенным является измеритель тока короткого замыкания ISM, также разработанный в Латглавэнерго. Измеритель состоит из силовой части, высокоомного вольтметра, блоков управления и питания. Измерительная цепь подключается к зажимам силовой части,

содержащей мощный резистор, по которому при срабатывании блока управления в течение одного полупериода проходит ток однофазного короткого замыкания. Падение напряжения измеряется высокоомным вольтметром,

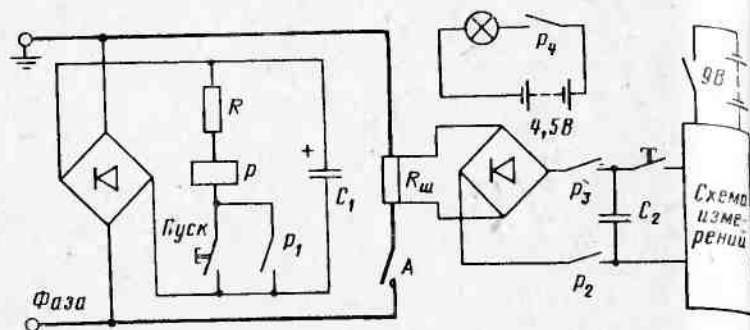


Рис. 35. Схема измерителя тока короткого замыкания.

шкала которого градуирована в амперах. Блок питания включает трансформатор, выпрямительный мост и стабилизаторы.

Осциллографы. При исследовании работы электрооборудования в лабораториях и проведении стендовых испытаний часто необходимо производить запись происходящих процессов на фотопленку или светочувствительную бумагу с помощью электромеханических осциллографов. Промышленность выпускает для этих целей осциллографы разных типов.

Осциллограф типа Н-102 позволяет производить запись на фотопленку чувствительностью 45—90 единиц шириной 35 мм одновременно восьми процессов. Скорость движения пленки устанавливается в пределах 1—5000 мм/с ступенями. Кассета осциллографа вмещает 10 м пленки. Питание осциллографа осуществляется от сети переменного тока 127 и 220 В или от источника постоянного тока 24 В. Измерительными элементами осциллографа являются вибраторы. Выбор вибраторов производится в зависимости от частоты записываемого процесса, максимально допустимого тока и максимальной допустимой амплитуды. Для оценки времени при анализе осциллограмм предусмотрен специальный вибратор — отметчик времени. На двух вибраторах предусмотрены нулевые линии. Визуальное наблюдение происходящих процессов производится на экране.

Универсальный осциллограф типа Н-700 позволяет одновременно производить 14 записей в диапазоне частот 0—800 Гц и более удобен. Запись производится на нормальную осциллографическую бумагу шириной 120 мм, чувствительностью 500—1000 единиц ГОСТ. Питание осциллографа осуществляется от сети постоянного тока напряжением 27 В. Скорость движения бумаги для записи низкочастотных колебаний 2, 5, 10 и 40 мм/с, а для записи высокочастотных колебаний 160, 640 и 2500 мм/с.

Осциллограф типа Н008М предназначен для регистрации изменений во времени электрических величин. Число каналов 12, ширина поля записи до 120 мм и диапазон регистрируемых частот от 0 до 4500 Гц. К этой серии также относится осциллограф типа Н010М с числом каналов 30 и шириной поля записи до 300 мм.

Для записи на ультрафиолетовой бумаге используются осциллографы типа Н115 и Н117.

Для многократной автоматической регистрации предаварийных, аварийных и послепослеаварийных режимов работы в узловых точках энергосистем и на ответственных подстанциях устанавливаются осциллографы типа Н022. Они имеют 12 каналов для регистрации переменных и постоянных токов и напряжений. Длительность регистрируемого предаварийного процесса 0,3 с. Ширина фотоленты 120 и 200 мм, емкость кассеты 25 м. Скорость движения фотоленты 250 и 500 мм/с. Диапазон регистрации частот 10—250 Гц. На фотоленте автоматически производится отметка времени аварии. Осциллограф снабжен сменным шунтом и блоками добавочных резисторов, позволяющих регистрировать переменные и постоянные токи до 200 А и напряжения до 200 В. Осциллограф питается от сети постоянного тока напряжением 110 или 220 В, может работать в длительном, круглосуточном режиме.

Для регистрации быстропеременных процессов применяются электронно-лучевые осциллографы с механической разверткой типа Н-023. В осциллографе установлено девять электронно-лучевых трубок. Диапазон регистрации частот 0—50 кГц. Для записи применяется фотобумага шириной 120 и 200 мм, чувствительностью 600—1000 единиц ГОСТ. Скорость движения фотобумаги в рулонной кассете от 50 до 5000 мм/с, в барабанной кассете 0,5—50 мм/с. Питание осциллографа осуществ-

Вляется от сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением $220 \text{ В} \pm 10\%$.

Установка для испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением промышленной частоты (рис. 36) состоит из коммутационных аппаратов, регулировочного устройства *Рег*, испытательного трансформатора *T_и*, устройства защиты *РЗ*, сигнализации и блокировки, а также контрольно-измерительных приборов. Питание установки осуществляется от сети 220/380 В через рубильник, который создает видимый разрыв в це-

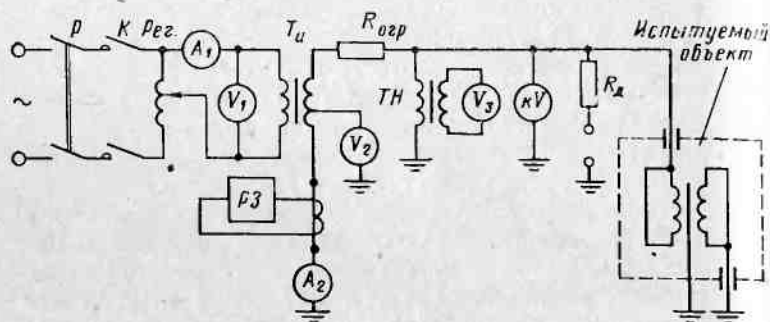


Рис. 36. Схема испытательной установки для испытания изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.

пи питания. Включение установки производится от руки, отключение — от руки или автоматически от релейной защиты контактором *K*. Испытательное напряжение измеряют, как правило, на стороне низкого напряжения вольтметром *V₁*. При наличии у испытательных трансформаторов специальной измерительной отпайки от обмотки высшего напряжения пользуются вольтметром *V₂*. В стационарных лабораториях испытательное напряжение часто измеряется на стороне высокого напряжения вольтметром *V₃* с помощью трансформатора напряжения *ТН* или электростатическим киловольтметром *kV*.

Для контроля тока в цепях испытательной установки включены амперметры. Для защиты объекта от случайного опасного повышения напряжения параллельно испытуемому объекту через сопротивление *R_д* иногда включают шаровой разрядник с пробивным напряжением, равным 110% испытательного. Обычно разрядники применяют при испытаниях изоляции электрических ма-

шин и некоторых типов вентильных разрядников, имеющих шунтирующие сопротивления.

Применение выпрямленного испытательного напряжения позволяет значительно уменьшить мощность испытательной установки и дополнительно контролировать состояние изоляции по измеряемому току утечки. При испытании изоляции выпрямленным напряжением обычно применяется однополупериодная схема выпрямления (рис. 37), состоящая из рубильника *P*, создающего видимый разрыв, контактора *K*, регулировочного устройства

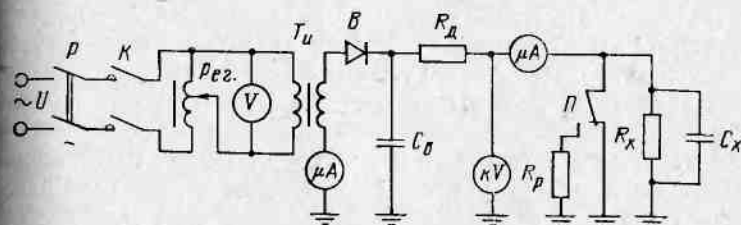


Рис. 37. Схема испытательной установки с однополупериодным выпрямлением напряжения.

Рег, испытательного трансформатора *T_и*, выпрямителя *B*, ограничительного резистора для защиты элементов схемы *R_д*, разрядного резистора *R_p* и контрольно-измерительных приборов. Для сглаживания пульсации выпрямленного напряжения при испытании разрядников и других объектов, имеющих емкость менее 1000 пФ, служит балластный конденсатор *C_б*.

Абсолютное значение пульсации напряжения δU , кВ, при однополупериодном выпрямлении определяется из выражения

$$\delta U = \frac{I_n}{Cf},$$

где *I_н* — ток нагрузки выпрямительного устройства, мА; *f* — частота переменного тока, Гц; *C* — емкость объекта, мкФ.

Неполнота выпрямления напряжения также характеризуется коэффициентом пульсации, %:

$$k = 100/Rcf,$$

где *R* — сопротивление объекта измерения, Ом.

Обычно при испытании выпрямленным напряжением допускается пульсация 3–5%. При испытаниях вентиль-

ных разрядников емкость балластного конденсатора принимается равной 0,1—0,2 мкФ.

Для измерения токов утечки испытываемого оборудования используется специальный многопредельный магнитоэлектрический экранированный микроамперметр с пределом измерения токов 0—1000 мкА. Прибор снабжается устройством, автоматически шунтирующим его при резком возрастании тока выше допустимых пределов.

Установки, в которых в качестве выпрямителя используются кенотронные лампы, должны обеспечивать защиту обслуживающего персонала от вредного воздействия рентгеновских лучей. Для этого применяют экраны. Кенотронные лампы рекомендуется заменить выпрямителями на диодах (см. рис. 39). Длительное сохранение заряда на объектах с большой емкостью может представлять опасность. Поэтому после замыкания на разрядный резистор испытуемый объект должен быть наглухо заземлен.

Регулировочные устройства служат для плавного изменения значения и фазы напряжения. Для регулирования напряжения применяются различные типы реостатов, потенциометров и автотрансформаторов. Технические данные регулировочных автотрансформаторов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Технические данные регулировочных автотрансформаторов (вариаторов)

Тип	Номинальное напряжение, В	Максимальное регулируемое напряжение, В	Максимальная мощность, кВт	Максимально допустимый ток нагрузки одной пары щеток, А	Число регулируемых щеток	Масса, кг	Система охлаждения
<i>Однофазные</i>							
PHO-250-0,5	127/220	250	0,5	2	1	5	Воздушная
PHO-250-2	127/220	250	2,0	8	1	15	
PHO-250-5	127/220	250	5,0	20	2	40	
PHO-250-10	127/220	240	10,0	40	2	70	
<i>Трехфазные</i>							
PHT-220-6	127/220	220±5%	6	16	2	60	Масляная
PHT-220-12	127/220	220±5%	12	32	2	100	

Таблица 4
Технические данные испытательных трансформаторов

Тип	Номинальное напряжение обмотки, кВ		Номинальный ток обмотки ВН, А	Номинальная мощность, кВт	Напряжение короткого замыкания, %	Общая масса, кг	Габариты (диаметр×исполнительная высота), мм
	НН	ВН					
ТВО-140-50	0,19	100±2,5	0,05	5	—	150	530×1070
ИОМН-100/20	0,2	100	0,2	20	9	280	642×1140
ИОМ-100/25	0,2 или 0,35	100	0,25	25	10	525	900×1420
ИОМ-100/100	0,2 или 0,35	100	1,0	100	10	990	977×1870
ИОМ-15/10	0,2	15	0,67	5/10	3	92	435×774
ИОМ-35-70/30	0,2	35 или 70	0,85	15/30	7	420	910×980
ИОМ-35-70/100	0,2	35 или 70	2,8	50/100	7	740	980×1610
ИОМ-35-70/300	0,38	35 или 70	8,5	150/300	10	1000	1030×1700
ИОМ-300/390	6,3	150	3,35	500	6,4—9,6	20 000	2200×4150
	3,3	300	2,0	600	10	20 000	2200×4150
	6,3	300	1,0	300	4,2—6,5	20 000	2200×4150
	6,3	300	1,67	500	6,4—9,9	20 000	2200×4150

Фазу напряжения изменяют фазорегуляторами, представляющими собой заторможенный асинхронный электродвигатель с фазным ротором. При повороте ротора угол между первичным и вторичным напряжением изменяется от 0 до 360°. При проверке устройств релейной защиты и автоматики наиболее часто применяют фазорегуляторы типа МАФ-22 (мощность 0,2 кВ·А) и ФР-88-2 (0,5 кВ·А). В более мощных испытательных устройствах применяются однофазные и трехфазные индукционные регуляторы типа МА-195-56/24 мощностью в зависимости от модификации 50—130 кВ·А.

Испытательные трансформаторы. Для испытания используются испытательные трансформаторы. Их номинальная мощность должна удовлетворять требованию

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

где C — емкость изоляции объекта, пФ; $U_{\text{исп}}$ — испытательное напряжение, кВ; ω — угловая частота.

Технические данные испытательных трансформаторов [29] приведены в табл. 4. Все они предназначены для работы с одним заземленным концом обмотки высшего напряжения и допускают работу при полном номинальном напряжении в течение 30 мин. При 2/3 номинального напряжения трансформаторы могут работать длительно. В типовом обозначении в знаменателе указана кратковременная мощность (трехкратное включение под нагрузку на 1 мин с трехминутными паузами).

Трансформаторы ТВО-140-50 снабжаются встроенными трансформаторами накала кенотрона с напряжением 200/13 В мощностью 110 В·А.

Таблица 5

Технические данные трансформаторов напряжения

Трансформатор	Коэффициент трансформации	Максимальная мощность, кВ·А	
		длительная	одноминутная
НОМ-6	6000/100	0,6	1,5
НОМ-10	10000/100	0,72	3,5
ЗНОМ-35	35 000: $\sqrt{3}$	1,2	5,0
	100: $\sqrt{3}$; 100:3		
НОМ-35	35000/100	1,2	6,0
НКФ-110	110 000: $\sqrt{3}$	2	11,0
	100: $\sqrt{3}$; 100		

Испытательный трансформатор ИОМН-100/20 предназначен для установки в передвижных лабораториях. Он имеет встроенное накальное устройство для питания кенотрона.

Для испытания изоляции электрооборудования могут быть использованы трансформаторы высокого напряжения для электрофильтров типа АФА-90-200 с номинальным напряжением 0,38/80 кВ, мощностью 18 кВ·А.

В качестве испытательных трансформаторов используются также трансформаторы напряжения (табл. 5).

Испытательный аппарат типа АИИ-70 предназначен для испытаний электрооборудования повышенным, переменным и выпрямленным напряжениями, а также для испытания трансформаторного масла. Аппарат состоит из трансформатора и выпрямительной приставки 1 (рис. 38). На крышке пульта расположен автомат максимального тока, вольтметр 3 для измерения выпрямленного напряжения, сигнальные лампы и лючок 4 для установки над выводами трансформатора сосуда для испытания трансформаторного масла. Трансформатор имеет встроенный ограничительный резистор для защиты обмотки высокого напряжения.

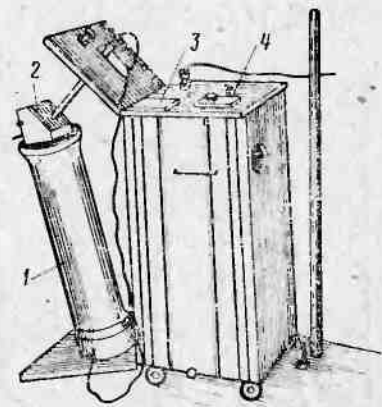


Рис. 38. Общий вид аппарата АИИ-70.

Выпрямительная приставка выполнена в виде маслонаполненного бакелитового цилиндра, в котором размещена кенотронная лампа типа КРМ-150 и ее трансформатор накала. На крышке приставки установлен микроамперметр 2 с переключателем пределов измерения на 200, 1000 и 5000 мкА. Аппарат АИИ-70 имеет защитный кожух, который перед включением аппарата в сеть должен быть надежно заземлен. Для разряда и заземления испытуемых объектов в комплекте аппарата имеется специальная заземляющая штанга с встроенным сопротивлением 30 кОм. Напряжение питающей сети 127 или 220 В. Максимальное напряжение при работе на пере-

менном токе 50 кВ, на выпрямленном токе 70 кВ. Напряжение регулируется при помощи регулировочного устройства. Испытательное напряжение измеряется вольтметром, включенным со стороны обмотки низкого напряжения трансформатора. Выходная одноминутная мощность трансформатора 2 кВ·А, наибольший выпрямленный ток 5 мА, время работы под нагрузкой (с выпрямительной приставкой) 10 мин, интервал между включениями 3 мин.

Аппараты АИИ-70 имеют ряд конструктивных недостатков [18], основной из которых — отсутствие защиты персонала от рентгеновского излучения. Обычно кенотронную приставку заменяют выпрямительным устройством на диодах, смонтированных в бакелитовом цилиндре (рис. 39). Выпрямительное устройство по схеме однополупериодного выпрямления набирается из 12 диодов Д1008. Для равномерного распределения напряжения каждый диод шунтируется конденсатором ПОВ 15 кВ, 330 пФ. На передней щитке для измерения токов утечки устанавливается микроамперметр М494 с переключателем на 100—500—1000 мкА.

Электромагнитный генератор частоты. В Тулэнерго [12] для испытания изоляции и определения места пробоя на воздушных линиях применяется электромагнитный генератор частоты ЭГЧ-5. Схема отыскания места повреждения показана на рис. 40.

Источником испытательного напряжения и тока высших гармоник служит повышающий трансформатор I с двумя вторичными обмотками II и III.

Обмотка III обеспечивает необходимый уровень испытательного напряжения, а обмотка II является источником тока высших гармоник. Выпрямитель высокого

напряжения собирается из кремниевых выпрямительных столбов типа Д1008 по двухполупериодной мостовой схеме. При испытании повышенным напряжением к объекту подключается только обмотка III, а при отыскании места пробоя на линии к ней одновременно подключаются обе вторичные обмотки, причем обмотка III — через выпрямитель, а обмотка II — через конденсатор. После пробоя происходит автоматический прожиг изоляции и наложение тока высших гармоник. Наличие высших гармоник обусловлено перевозбуждением сердечника и резонансом индуктивности обмоток II с конденсатором С

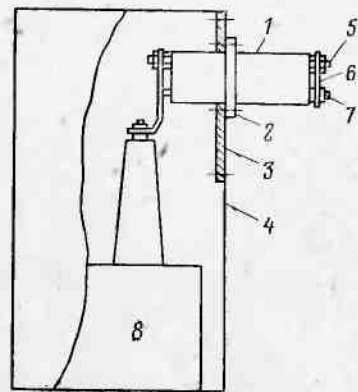


Рис. 39. Аппарат АИИ-70 с выпрямительным устройством.

1 — бакелитовый цилиндр; 2 — опорный фланец; 3 — изоляционный щиток; 4 — кожух аппарата АИИ-70; 5 — вывод выпрямленного напряжения; 6 — контактная перемычка; 7 — шунтирующий электрод; 8 — испытательный трансформатор.

напряжения собирается из кремниевых выпрямительных столбов типа Д1008 по двухполупериодной мостовой схеме. При испытании повышенным напряжением к объекту подключается только обмотка III, а при отыскании места пробоя на линии к ней одновременно подключаются обе вторичные обмотки, причем обмотка III — через выпрямитель, а обмотка II — через конденсатор. После пробоя происходит автоматический прожиг изоляции и наложение тока высших гармоник. Наличие высших гармоник обусловлено перевозбуждением сердечника и резонансом индуктивности обмоток II с конденсатором С

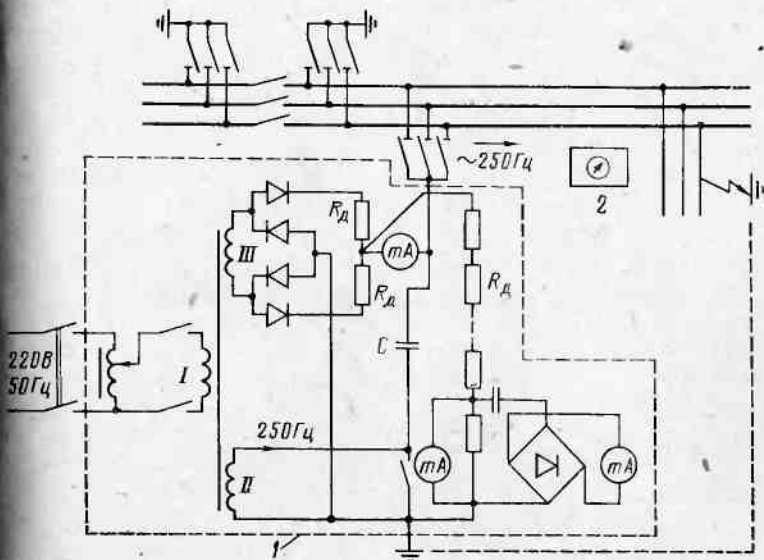


Рис. 40. Схема испытаний изоляции воздушной линии.

1 — электромагнитный генератор частоты; 2 — прибор для отыскания замыкания на землю.

на частоте 250 Гц. Потребление в режиме отыскания места пробоя составляет 3—4 кВ·А.

Обмотка I расположена на центральном стержне Ш-образного магнитопровода, а обмотки II и III — на разных боковых стержнях, что обеспечивает высокую индуктивность рассеяния и позволяет эксплуатировать ЭГЧ-5 в режиме короткого замыкания. При испытаниях повышенным напряжением обмотка II соединяется накоротко.

Измерение напряжения на объекте производится делителем напряжения $R_{д}$, схема которого обеспечивает независимое измерение постоянного и переменного напряжений. Электромагнитный генератор оснащен также прибором для измерения выпрямленного тока с пределами от 100 мкА до 100 мА и конденсатором.

Конструктивно ЭГЧ-5 выполнен в виде блока высокого напряжения и блока управления, соединяемых кабелем. Блок высокого напряжения содержит повышающий трансформатор, выпрямитель, добавочные сопротивления, конденсатор, делитель напряжения и прибор для измерения выпрямленного тока. Трансформатор и выпрямитель помещены внутри маслonaполненного изолирующего бака, а остальные элементы блока высокого напряжения смонтированы на этом баке.

Передвижные испытательные лаборатории предназначены для испытания электрооборудования и проведения пусконаладочных работ. Передвижная электротехническая лаборатория ЭТЛ-35-02 смонтирована на шасси автомобиля ГАЗ-66 повышенной проходимости. Лаборатория (рис. 41) позволяет выполнять комплекс испытаний оборудования электрических сетей 6—35 кВ: испытание повышенным напряжением переменного тока до 100 кВ и постоянного тока до 70 кВ; измерение тангенса угла диэлектрических потерь и емкости изоляции; измерение сопротивления изоляции, контактов, контуров заземления и др.; измерение коэффициента трансформации и определение групп соединения обмоток силовых трансформаторов; проверку работы приводов.

Питание лаборатории осуществляется от сети напряжением 380/220 или 220/127 В. Регулирование испытательного напряжения осуществляется автотрансформатором РНО-250-10. В лаборатории установлен испытательный трансформатор типа ИОМН-100/20 со встроенным трансформатором накала для питания кенотронной лампы типа КРМ-150. Высокое напряжение для питания моста Р595 для измерения тангенса угла диэлектрических потерь подводится от трансформатора напряжения НОМ-10. В отсеке оператора смонтирован пульт управления с измерительными приборами, аппаратурой управления, сигнализации и защиты. Для обеспечения безопасности работы устроена блокировка и предусмотрено заземление. В пульт управления смонтирован мост Р595 и мегаомметр Ф-2. В специальном шкафу

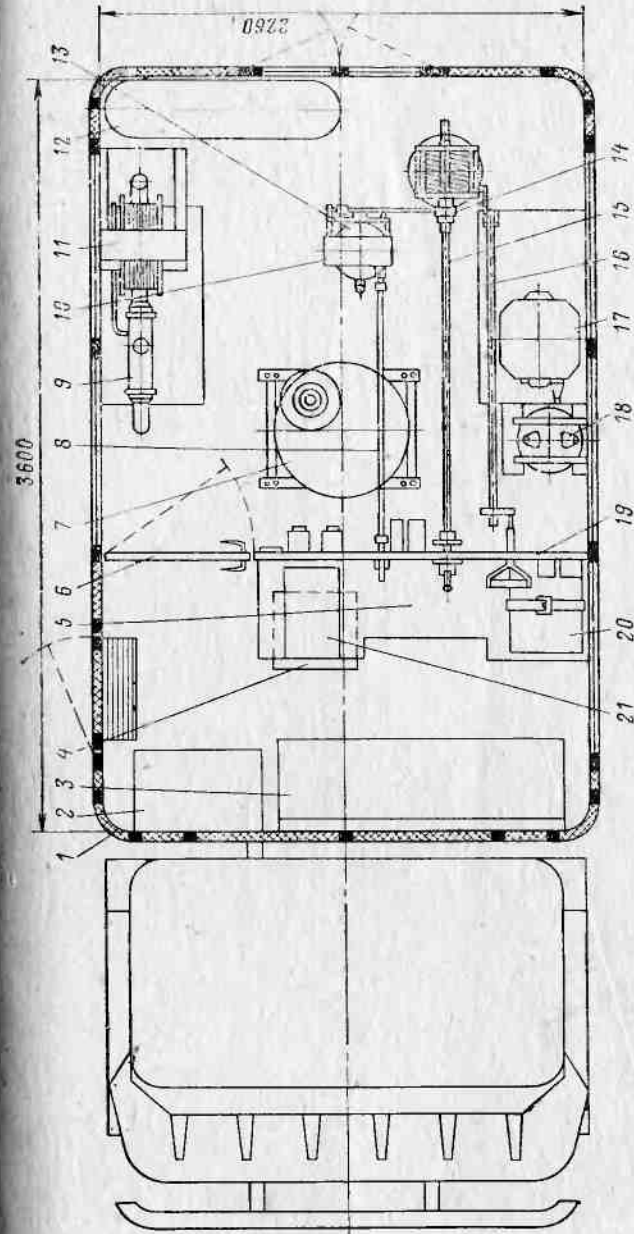


Рис. 41. Размещение аппаратуры в лаборатории ЭТЛ-35-02.

1 — кузов; 2 — шкаф для приборов; 3 — диван; 4 — регулятор напряжения; 5 — пульт управления; 6 — дверь для ввода в отделение высокого напряжения; 7 — испытательный трансформатор ИОМН-100/20; 8 — тяга управления микроамперметром; 9 — отопительная установка; 10 — микроамперметр М-83; 11 — катушка питающего кабеля; 12 — запасное колесо; 13 — кенотронная лампа; 14 — главный переключатель; 15 — тяга главного переключателя; 16 — тяга заземляющего ножа; 17 — образцовый конденсатор; 18 — трансформатор НОМ-10; 19 — керогородка; 20 — измерительный мост Р595; 21 — мегаомметр Ф-2.

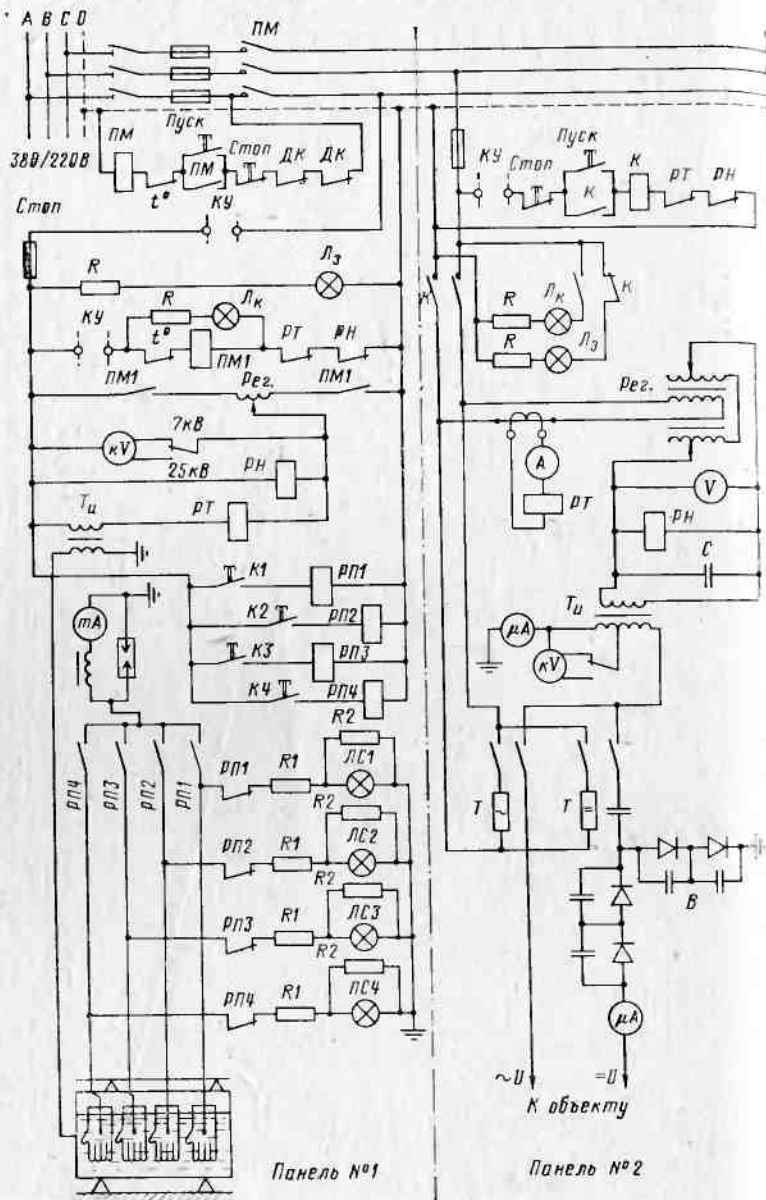


Рис. 42.

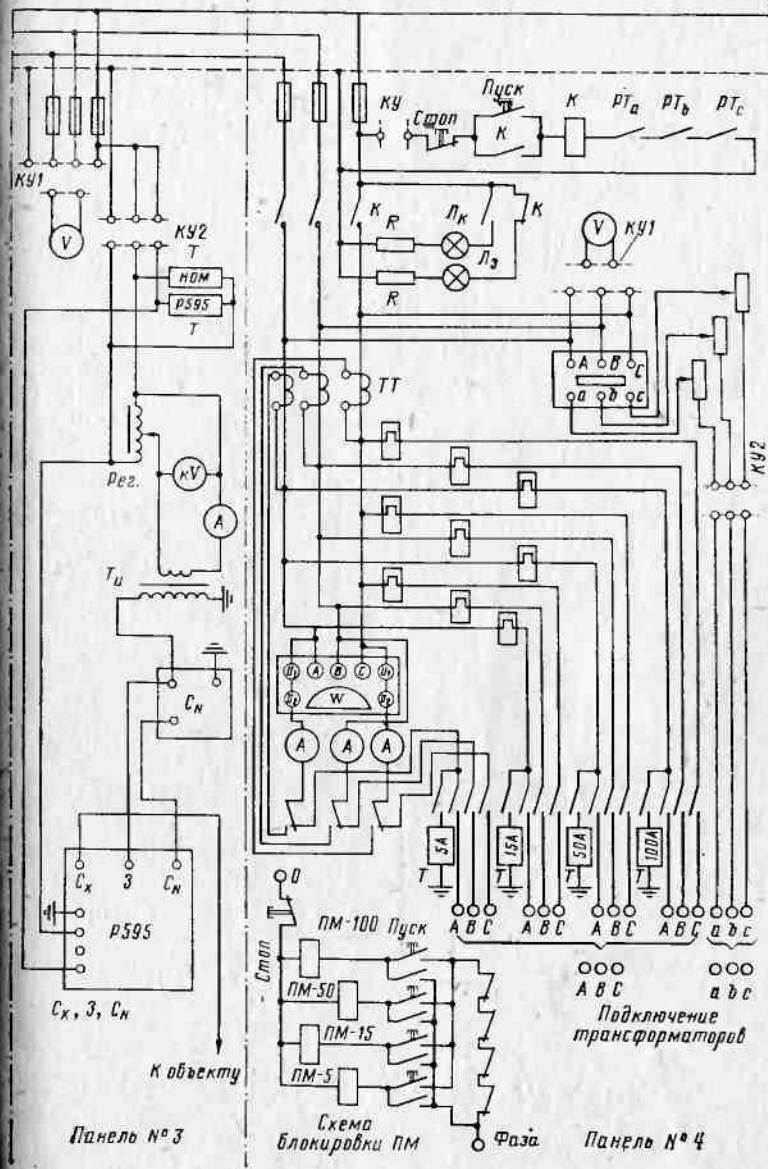


Рис. 42.

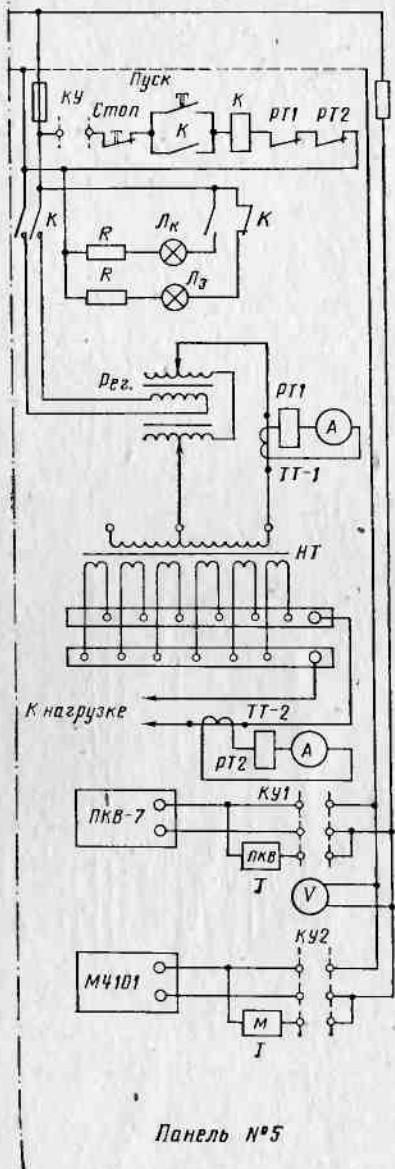


Рис. 42. Схема стационарной высоковольтной лаборатории.

размещен комплект электроизмерительных приборов для измерения тока и потерь холостого хода, а также коэффициента трансформации трансформаторов, мост для измерения сопротивления постоянному току обмоток, прибор ПКВ-7 для определения степени увлажнения изоляции трансформаторов.

Для испытания кабельных линий и оборудования подстанций 6—10 кВ применяется передвижная лаборатория типа ПВЛ-10, смонтированная на шасси автомобиля УАЗ-452Д. В лаборатории стационарно установлены мегаомметр Ф4100, мост Р595, испытательный трансформатор напряжением до 50 кВ, мощностью 2,0 кВ·А и кенотронная лампа КРМ-150. В лаборатории также имеется комплект электроизмерительных приборов и мост Р-316.

Передвижная высоковольтная лаборатория ПКЛС-10-02 [28], предназначена для проведения полного комплекса пусконаладочных и профилактических испытаний электрооборудования подстанций, а также кабельных линий напряжением до 10 кВ и определения мест повреждения в них. Ла-

боратория смонтирована на базе автомобиля ГАЗ-66. Питание лаборатории осуществляется от сети 220/380 В. Для испытаний на высоком напряжении используется испытательный трансформатор ИОМН-100/20. Переменное напряжение преобразуется выпрямительной приставкой на кремниевых диодах Д1007 или Д1008. В лаборатории стационарно установлены мегаомметр Ф4100, мост Р595, имеется оборудование для прожигания дефектных мест кабеля и для определения места повреждения кабелей.

Стационарные испытательные лаборатории. Передвижные испытательные лаборатории не обеспечивают проверку электрооборудования в нужном объеме, поэтому на сетевых предприятиях оборудуются стационарные испытательные лаборатории. В качестве примера описывается с некоторыми изменениями лаборатория, разработанная и оборудованная Латвглавэнерго (рис. 42).

Пульты управления лаборатории смонтированы на пяти наклонных панелях. Питание лаборатории подводится через главный магнитный пускатель ПМ, заблокированный с входными дверями ДК.

Панель № 1 используется для проверки защитных средств (перчаток, бот, галош). Источником повышенного напряжения является трансформатор T_n 100/20000 В. Ток утечки проверяемого объекта контролируется миллиамперметром. При пробое на панели загорается соответствующая контрольная лампа ЛС. С пробитого объекта снимается напряжение и процесс проверки продолжается. В целях безопасности работы переключение миллиамперметра и контрольных ламп производится контактами реле РП1—РП4 типа МКУ, а кнопки управления К1—К4 воздействуют на катушки реле. В качестве сигнальных ламп используются неоновые лампы МН-7. Реле напряжения РН настраивается на предельное испытательное напряжение, при превышении которого оно отключает установку. Реле РТ использовано для защиты трансформатора при пробое защитных средств. Защита миллиамперметра выполнена при помощи дросселя и разрядника. Напряжение на панель подается включением магнитного пускателя ПМ1, а регулируется автотрансформатором Рег.

Проверка оборудования повышенным напряжением производится на панели № 2, где установлен испытательный трансформатор T_n типа ИОМН-100/20. Выпрям-

ление напряжения осуществляется с помощью приставки *B*, выполненной из последовательно соединенных кремниевых диодов типа Д1007 или Д1008. Диоды включены по схеме удвоения напряжения. Для равномерного распределения напряжения по диодам они шунтируются конденсаторами. Контроль напряжения испытательного трансформатора осуществляется вольтметром, включенным на измерительную отпайку трансформатора. Для предотвращения повреждения испытательного трансформатора и выпрямительной приставки предусмотрена максимальная токовая защита *PT* и защита от повышения напряжения *PH*. Включение схемы испытания производится ключом управления *KУ* и контактором *K*. Состояние контактора контролируется с помощью сигнальных ламп (зеленой и красной). Напряжение регулируется автотрансформатором *Reg* типа РНО-250-10. С панели управления контролируется испытательное переменное и выпрямленное напряжение, а также ток утечки проверяемого оборудования. Для удобства оператора при включении схемы испытания переменным или выпрямленным напряжением загорается соответствующее световое табло *T*.

Панель № 3 предназначена для измерения $\text{tg } \delta$. Она содержит мост типа Р595 и прибор для контроля фазного напряжения. Мост собран по перевернутой схеме.

Все оборудование схемы (трансформатор НОМ-10, образцовый конденсатор C_N и регулятор напряжения РНО-250-0,5) установлено стационарно в пульте управления. Положение ключа *KУ2* контролируется световым табло.

Для контроля загрузки трансформатора НОМ-10 в его первичную цепь включен амперметр. Шкала нуль-индикатора моста Р595 закрыта затемняющей насадкой.

Панель № 4 используется для испытания силовых трансформаторов. Схемой предусмотрены измерение тока и потерь холостого хода и короткого замыкания, измерение коэффициента трансформации и определение группы соединений трансформаторов. Для определения группы соединения трансформаторов использован универсальный фазоуказатель типа Э500.

Ток холостого хода трансформаторов может меняться в зависимости от их мощности, поэтому предусмотрено четыре предела измерения: 5, 15, 50 и 100 А. Пере-

ключения производятся с пульта управления четырьмя магнитными пускателями. Фазные выводы от пускателей подведены к общим зажимам панели *A, B, C*, куда подключаются выводы испытываемого трансформатора. Предел измеряемого тока холостого хода контролируется соответствующими световыми табло.

В схеме использованы три трансформатора тока УТТ-5М с ответвлениями 15, 50 и 100 А (6 витков) и трехфазный ваттметр Д-582. Для замера коэффициента трансформации в качестве переключателя использован трехпозиционный ключ КФ. В качестве измерительных приборов применены амперметры Э514/2 и вольтметры Э515/2 и Э515/3.

На панели № 5 смонтирован прибор контроля влажности изоляции типа ПКВ-7, мегаомметр М4101/5 и измерительные приборы нагрузочного трансформатора. Нагрузочный трансформатор НТ рассчитан на длительный ток 2000 А. Его вторичная обмотка состоит из шести катушек, которые могут переключаться на коммутаторе параллельно, последовательно и смешанно в зависимости от необходимых вторичных токов и напряжений. Нагрузочный трансформатор используется для регулировки автоматов, проверки оборудования на термическую стойкость и других работ.

В качестве регулировочного устройства *Reg* для нагрузочного трансформатора использован автотрансформатор типа РНО-250-10.

Включение приборов ПКВ-7 и М4101/5 контролируется на пульте управления световыми табло.

4. ОБЪЕМ И НОРМЫ ИСПЫТАНИЙ

Пригодность электрооборудования к эксплуатации устанавливают на основании не только сравнения результатов испытания с нормами, но и совокупности результатов всех проведенных испытаний и осмотров. Значения, полученные при испытаниях, сопоставляют с исходными данными, с результатами измерения однотипного оборудования или оборудования других фаз, а также с результатами предыдущих испытаний. В качестве исходных данных принимаются паспортные данные и данные протоколов испытаний, произведенных на заводе-изготовителе. При отсутствии таких данных в качест-

ве исходных принимают результаты приемо-сдаточных испытаний или испытаний при восстановительном ремонте, а при их отсутствии — данные наиболее ранних испытаний.

Различают следующие виды испытаний вновь вводимого и действующего электрооборудования:

приемо-сдаточные испытания вновь вводимого в эксплуатацию электрооборудования и электрооборудования, прошедшего восстановительный ремонт или реконструкцию;

испытания при капитальном ремонте электрооборудования;

испытания при текущем ремонте электрооборудования;

межремонтные или так называемые профилактические испытания, не связанные с выводом электрооборудования в ремонт.

Полный объем испытаний по видам электрооборудования и периодичность их проведения приведены в [14]. До проведения ремонта производятся контрольные испытания для установления объема и характера ремонта.

Изоляция электрооборудования производства иностранных фирм, которая согласно технической документации испытана напряжением ниже приведенного в настоящем параграфе, при вводе в эксплуатацию испытывается напряжением, устанавливаемым в каждом отдельном случае, но не менее 90% испытательного напряжения, установленного заводом-изготовителем.

Для электрооборудования с пониженной электрической прочностью испытательное напряжение в процессе эксплуатации устанавливается в зависимости от местных условий эксплуатации, характера и состояния изоляции.

При отсутствии испытательной аппаратуры переменного тока допускается испытывать оборудование распределительных сетей напряжением до 20 кВ повышенным выпрямленным напряжением, которое должно быть равно 1,5-кратному значению испытательного напряжения промышленной частоты.

Если испытание повышенным напряжением производится без расшиновки оборудования распределительного устройства, то испытательное напряжение принимается по нормам для оборудования с самым низким уровнем испытательного напряжения.

Продолжительность испытания повышенным напряжением керамической, жидкой и бумажно-масляной основной изоляции 1 мин, изоляции из твердых органических материалов или кабельных масс 5 мин.

До начала испытаний все электрооборудование осматривается, проверяется работа механической части и т. п.

Испытания электрооборудования обычно производят на месте их установки. Когда стационарные лаборатории располагаются недалеко от места установки электрооборудования и имеются хорошие дороги, практикуют проведение испытаний в условиях стационарной лаборатории с повторением измерения сопротивления изоляции и испытания повышенным напряжением после монтажа оборудования на месте установки.

Испытания электрооборудования обычно совмещаются с его ремонтом. Поэтому сроки испытаний соответствуют периодичности проведения ремонтов, регламентированной Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей. Сроки межремонтных испытаний устанавливаются главным инженером энергоуправления.

Ниже приводятся нормы, в соответствии с которыми производится оценка состояния различных видов оборудования.

Силовые трансформаторы. Для определения возможности ввода в работу нового маслонаполненного силового трансформатора мощностью до 1000 кВ·А производится внешний осмотр с проверкой наличия пломб на кранах и на пробке для отбора пробы масла, отбор пробы масла и испытание его в объеме сокращенного анализа, измерение $R_{60''}$ и отношения $R_{60''}/R_{15''}$.

Трансформатор включают без сушки, если уровень масла находится в пределах отметок маслоуказателя, характеристики масла соответствуют нормам и значение $R_{60''}/R_{15''}$ при температуре 10—30°C не менее 1,3.

Для трансформаторов мощностью до 6300 кВ·А дополнительно нормируется значение $R_{60''}$.

Если уровень масла ниже отметки маслоуказателя, но обмотки покрыты маслом, или если результаты сокращенного анализа масла или $R_{60''}/R_{15''}$ не соответствуют нормам, но в масле отсутствуют следы воды и пробивное напряжение масла снизилось по сравнению с нормами не более чем на 5 кВ, дополнительно измеряют значения $\lg \delta$ или C_2/C_{50} обмоток в масле, которые должны удовлетворять нормам.

Нормируемые минимальные значения сопротивления изоляции R_{60}'' , максимальные значения $\text{tg } \delta$ и отношение C_2/C_{50} зависят от температуры обмоток и составляют:

Температура обмоток, °С	10	20	30	40	50	60	70
Сопротивление изоляции, МОм	450	300	200	130	90	60	40
$\text{tg } \delta$, %	1,2	1,5	2,0	2,5	3,4	4,5	6,0
C_2/C_{50}	1,1	1,2	1,3	—	—	—	—

Для приведения измеренных значений R_{60}'' при температуре t_1 к температуре измерений на заводе t_2 производится пересчет данных измерений с помощью коэффициента k_1 , а $\text{tg } \delta$ с помощью коэффициента k_2 .

Разность температур

$t_2 - t_1$, °С	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
k_1	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,50	1,84	2,25	2,75	3,4
k_2	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,31	1,51	1,75	2,00	2,3

Если $\text{tg } \delta$ или C_2/C_{50} в пределах норм, трансформатор включают без сушки.

Величина $\text{tg } \delta$ или C_2/C_{50} является определяющей, когда R_{60}''/R_{15}'' ниже нормы.

При определении условий включения без сушки трансформаторов мощностью до 100 кВ·А достаточно провести испытание масла только на пробивное напряжение, определить отсутствие следов воды в масле и измерить сопротивление изоляции трансформатора R_{60}'' .

Для включения трансформаторов мощностью до 100 кВ·А без сушки необходимо соблюдение одной из следующих комбинаций условий: уровень масла находится в пределах отметок маслоуказателя и характеристики масла соответствуют нормам; характеристики масла и $\text{tg } \delta$ или C_2/C_{50} соответствуют нормам; уровень масла находится в пределах отметок маслоуказателя и $\text{tg } \delta$ или C_2/C_{50} соответствуют нормам.

Трансформаторы, прошедшие ремонт с полной или частичной сменой обмоток или изоляции, подлежат сушке независимо от результатов измерений. Трансформаторы мощностью до 1000 кВ·А, прошедшие капитальный ремонт без смены обмоток или изоляции, при соблюдении условий и времени пребывания активной части на воздухе, при соответствии нормам изоляционных характеристик масла или при условии, что за время ремонта сопротивление изоляции снизилось не более чем на 40%, допускается включать в эксплуатацию без сушки.

Кроме того, у трансформаторов мощностью до 10 000 кВ·А для включения в эксплуатацию без сушки значение R_{60}''/R_{15}'' должно быть не менее 1,3.

Сухие трансформаторы включают в эксплуатацию в соответствии с указаниями завода-изготовителя. Наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции вновь вводимых сухих трансформаторов для обмоток напряжением до 1000 В — 100 МОм, 6 кВ — 300 МОм, 10 кВ — 500 МОм.

В эксплуатации сопротивление изоляции R_{60}'' и отношения R_{60}''/R_{15}'' у силовых трансформаторов не нормируются, но учитываются при комплексном рассмотрении результатов всех испытаний изоляции и при сопоставлении с ранее полученными данными.

Испытания трансформаторов повышенным напряжением производятся в соответствии с табл. 6. При капи-

Таблица 6

Испытательное напряжение частотой 50 Гц для электрооборудования с нормальной и облегченной изоляцией

Класс напряжения электрооборудования, кВ	Испытательное напряжение, кВ								
	Трансформаторы, заземляющие реакторы			Аппараты, измерительные трансформаторы			Изоляторы, вводы		
	на заводе	перед вводом в эксплуатацию	в эксплуатации	на заводе	Перед вводом в эксплуатацию и в эксплуатации		на заводе	перед вводом в эксплуатацию и в эксплуатации	
					Фарфоровая изоляция	Другая изоляция		Фарфоровая изоляция	Другая изоляция
До 0,69	5	4,5	4,3	2	1	1	—	—	—
	3	2,7	2,6						
6	25	22,5	21,3	32	32	28,8	32	32	28,8
	16	14,4	13,6						
10	35	31,5	29,8	42	42	37,6	42	42	37,8
	24	21,6	20,4						
15	45	40,5	38,3	55	55	49,5	57	57	51,3
	37	33,3	31,5						
20	55	49,5	46,8	65	65	58,5	68	68	61,2

* Под другими видами изоляции понимается изоляция из органических твердых материалов, кабельных масс, жидких диэлектриков и бумажно-масляная изоляция, также изоляция из фарфора в сочетании с перечисленными диэлектриками.

Примечания: 1. В числителе дана норма для нормальной, в знаменателе — для облегченной изоляции. 2. Испытательное напряжение прикладывается в течение 1 мин.

тальном ремонте с полной сменой обмотки и изоляции испытательное напряжение должно быть равно заводскому (столбец 2). При частичной смене обмоток или реконструкции трансформатора испытательное напряжение принимается равным 0,9 значения заводского испытательного напряжения.

Испытание изоляции обмоток маслонаполненных трансформаторов повышенным напряжением при вводе их в эксплуатацию и при капитальных ремонтах без смены обмоток и изоляции не обязательно. Испытание изоляции сухих трансформаторов при вводе в эксплуатацию обязательно и проводится по нормам для аппаратов с облегченной изоляцией.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току при приемо-сдаточных испытаниях и после капитального ремонта производится на всех ответвлениях переключателя. Измеренные величины не должны отличаться более чем на 2% от значений, полученных на соответствующих ответвлениях других фаз, или от заводских данных и результатов предыдущих измерений.

Испытание бака с радиаторами производится гидравлическим давлением столба масла, высота которого над уровнем заполненного расширителя принимается для трубчатых и гладких баков равной 0,6 м, для волнистых, радиаторных и баков с охладителями — 0,3 м. Продолжительность испытаний 3 ч при температуре масла не ниже +10°C. Течи масла не должно быть.

При подключении новых и отремонтированных трансформаторов, а также при изменениях в цепях первичной коммутации производится фазировка.

Коэффициент трансформации определяют на всех ответвлениях переключателя. Он не должен отличаться более чем на 2% от величины, полученной на том же ответвлении на других фазах, или от данных завода-изготовителя.

Группу соединения проверяют при монтаже, если отсутствуют паспортные данные или если есть сомнения в достоверности этих данных. В эксплуатации группу соединения проверяют у всех трансформаторов при их ремонте со сменой обмоток.

При опыте холостого хода измеряют или ток при номинальном напряжении или потери при пониженном напряжении. Ток и потери холостого хода не нормируются.

Индикаторный силикагель воздухоосушителей должен иметь равномерную голубую окраску. Розовый цвет свидетельствует об увлажнении силикагеля.

Испытание масла, залитого в трансформатор, производится по показателям п. п. 1, 2 и 4—6 табл. 9. Масло трансформаторов I и II габаритов при наличии документов с удовлетворяющими нормам результатами заводских испытаний, проведенных не более чем за 6 мес до включения трансформатора в работу, разрешается испытывать только на пробивное напряжение и содержание механических примесей.

Новые и отремонтированные трансформаторы 3—5-кратно включаются толчком на номинальное напряжение.

Испытание вводов, установленных на силовых трансформаторах, производится совместно с испытанием обмоток этих трансформаторов по нормам, принятым для силовых трансформаторов.

Измерительные трансформаторы. Сопротивление изоляции первичных обмоток измерительных трансформаторов не нормируется, а у вторичных обмоток вместе с подсоединенными к ним цепями оно должно быть не менее 1 МОм. У выносных трансформаторов тока сопротивление изоляции исправной обмотки составляет 50 МОм. Измерение сопротивления изоляции первичной обмотки производится мегаомметром на напряжение 2500 В, вторичных обмоток — 500 или 1000 В.

Тангенс угла диэлектрических потерь бумажно-бакелитовой изоляции при температуре 20°C должен быть у вновь вводимых трансформаторов тока на 6—15 кВ не более 3% и на 20 кВ не более 2,5%, а после капитального ремонта соответственно не более 12 и 8%. У бумажно-масляной изоляции вновь вводимых трансформаторов тока на 20 кВ тангенс угла диэлектрических потерь должен быть не более 2,5%, а после капитального ремонта — не более 4,5%.

Испытательное напряжение первичных обмоток трансформаторов тока и напряжения принимается в соответствии с табл. 6.

Ток холостого хода трансформаторов напряжения не нормируется.

Измерение коэффициента трансформации производится у встроенных трансформаторов тока и трансформато-

ров тока, имеющих переключающее устройство. Измерение производится на рабочем ответвлении.

Характеристики намагничивания сердечников трансформаторов тока снимаются для выявления короткозамкнутых витков при повышенном напряжении до начала насыщения, но не выше 1800В. Снятые характеристики сопоставляются с типовыми или характеристиками других однофазных исправных трансформаторов тока.

Трансформаторное масло из измерительных трансформаторов не испытывается и заменяется при браковочных данных, полученных при испытаниях изоляции.

Масляные выключатели. Сопротивление изоляции измеряется у подвижных и направляющих частей, изготовленных из органических материалов. Сопротивление изоляции при приемо-сдаточных испытаниях должно быть не менее 1000 МОм для выключателей напряжением 6—10 кВ и 3000 МОм для выключателей напряжением 15—20 кВ, а при капитальных ремонтах соответственно 300 и 1000 МОм. Сопротивление изоляции каждого присоединения вторичных цепей и цепей питания приводов, измеренное мегаомметром напряжением 1000—2500 В, должно быть не менее 1 МОм.

Изоляция масляных выключателей относительно корпуса или опорная изоляция испытываются повышенным напряжением в соответствии с табл. 6. У малообъемных выключателей 6—10 кВ испытывается также повышенным напряжением изоляция контактного разрыва.

Сопротивление постоянному току у масляных выключателей измеряется как у токоведущего контура полюса в целом, так и у отдельных его элементов, а также у электромагнитов управления. Сопротивление должно соответствовать заводским нормам. Для наиболее распространенных выключателей значения сопротивлений приведены в табл. 7.

Скоростные и временные характеристики, ход подвижных частей, одновременность замыкания и размыкания контактов, регулировочные и установочные характеристики приводов, действие механизма свободного расцепления и напряжение срабатывания приводов должны соответствовать нормам (табл. 7). Опробование выключателей многократными включениями и отключениями производится при напряжении на зажимах электромагнитов: включения — 100 и 80% номинального; отключения — 100 и 65% номинального; включения и отключе-

Нормы характеристик масляных выключателей

Характеристика	Нормы характеристики выключателя						
	ВМГ-10П с встроенным приводом	ВММ-10	ВМГ-10 с приводами ПЭ-11, ПП-67	ВМГ-133	ВС-10	ВМБ-10	
1	2	3	4	5	6	7	
1. Собственное время отключения, с, не более	0,1	0,1(0,08)	0,12 для ПЭ-11 0,14 для ПП-67	0,1	0,08—0,1	0,05	
2. Собственное время включения, с, не более	0,2	0,2(0,12)	0,3	0,23	—	0,22	
3. Минимальная безостановочная пауза цикла АПВ, с	0,5	0,5(0,25)	0,5	0,5	0,5	—	
4. Скорость движения подвижных контактов при отключении, м/с: в момент замыкания	3,2—3,8	2—3,2	2,1—2,7	1,75—2,0	1,0—1,4*	1,5	
максимальная	5,0	—	3,3—3,9	3—3,2	1,1—1,5** 2,1—2,5* 2,7—3,3**	2,65	
5. Скорость движения подвижных контактов при включении, м/с: в момент замыкания	Не менее 4,5	—	2—2,6	2,4—3 для ПС-10	1,0—1,4*	—	
максимальная	Не более 6,0	—	2—2,6	Не более 3,2 для ПС-10	1,2—2,0** 1,3—1,7* 1,8—2,2**	2,3	

Норма характеристики выключателя

Характеристика	Норма характеристики выключателя					
	ВМГ-10П с встроенным приводом	ВММ-10	ВМГ-10 с приводами ПЭ-1, ПП-67	ВМГ-133	ВС-10	ВМБ-10
1	2	3	4	5	6	7
6. Разновременность размыкания и замыкания между фазами, мм, не более	240—245	—	205—215	245—255	75—81	100—104
7. Полный ход подвижных контактов, мм	55—63	32—38	40—50	40±5	10—12	12±1
8. Ход подвижного контакта в неподвижном, мм	4	—	—	25—30	—	—
9. Недоход контактных стержней до крайних положений при включении, мм	55 [600]*** 40 [1000]*** 30 [1500]***	85 (100)	75 [600]*** 70 [1000]***	100 [600]*** 75 [1000]***	2200	150 [600]*** 100 [1000]***
10. Сопротивление по стоянному току токоведущего контура, мкОм, не более: полюса полюса без вводов	—	—	—	—	600	—

Норма характеристики выключателя

Характеристика	Норма характеристики выключателя					
	ВМГ-10П с встроенным приводом	ВММ-10	ВМГ-10 с приводами ПЭ-1, ПП-67	ВМГ-133	ВС-10	ВМБ-10
1	2	3	4	5	6	7
контура токосъема	22 [600]*** 16 [1000]*** 10 [1500]***	—	—	50 [600]*** 25 [1000]***	—	—
стержня—розетки	33 [600]*** 24 [1000]*** 20 [1500]***	—	50 [600]*** 50 [1000]***	—	—	—
11. Минимальное напряжение срабатывания привода не более, при включении отключении	0,65 U_H 0,65 U_H	0,8 U_H 0,65 U_H	0,65 U_H	0,65 U_H	0,8 U_H —	0,65 U_H
12. Сопротивление по стоянному току электромагнита, Ом: отключения включения	87,5 [110]**** 311 [220]**** 87,5 [110]**** 311 [220]****	34 (51) [110]**** 110 (51) [220]**** 34 (51) [110]**** 110 (51) [220]****	—	—	—	87,5 [110]**** 311 [220]****

* Для ВС-10-63-2,5.

** Для ВС-10-32-0,8.

*** В квадратных скобках значение U_H выключателя, А.

**** В квадратных скобках значение U_H электромагнита, В.

Примечание. В столбце 3 данные в скобках относятся к выключателям ВММ-10 выпуска до 13/VII 1974 г.

ния — 100 и 80% номинального (сложные циклы В — О, О — В, О — В — О). При возможности производят также опробование выключателей при верхнем пределе напряжения на зажимах электромагнитов отключения 120% — и включения 110% номинального.

При пониженном и повышенном напряжении производят 3 — 5, а при номинальном напряжении — 10 операций включения и отключения. Выключатели опробуют в сложных циклах (2 — 3 цикла каждого вида).

Трансформаторное масло проверяется до и после заливки в масляные баковые выключатели и перед заливкой в маломасляные выключатели. Проверка производится при вводе выключателей в эксплуатацию после монтажа, а также при капитальном и неплановом ремонте в объеме пл. 1—2 табл. 9. После выполнения выключателями предельно допустимого числа отключений токов коротких замыканий испытание масла не производится: оно заменяется свежим.

Выключатели нагрузки, разъединители и предохранители на напряжение выше 1000 В испытываются после сборки и регулировки. Испытательное повышенное напряжение принимается в соответствии с табл. 6, а вторичные цепи этих аппаратов испытываются напряжением 1000 В.

Испытание опорной изоляции предохранителей обычно производится совместно с испытанием изоляторов ошиновки.

Сопротивление изоляции измеряют у выполненных из органических материалов поводков и тяг разъединителей. Измерения производят мегаомметром на напряжение 2500 В. Сопротивление изоляции при приемо-сдаточных испытаниях должно быть не менее 1000 МОм у разъединителей 6—10 кВ и не менее 3000 МОм у разъединителей 15—20 кВ. При капитальных ремонтах эти величины должны быть соответственно не менее 300 и 1000 МОм. Сопротивление постоянному току измеряется у токоведущей системы каждого полюса, у каждой пары рабочих контактов выключателей нагрузки и у всех электромагнитов управления. Значения сопротивлений должны соответствовать заводским нормам.

Минимальная допустимая толщина стенки дугогасящих вкладышей выключателей нагрузки ВН-16, ВВП-16, ВВП-17 и ВН-11 должна быть 0,5—1 мм. Суммарный

размер обгорания подвижного и неподвижного дугогасительных контактов не менее 4 мм.

Вытягивающие усилия подвижных контактов разъединителей из неподвижных измеряются при обезжиренных контактных поверхностях. Вытягивающее усилие для разъединителей РВК-10 на 3000—5000 А и РВК-20 на 5000—6000 А должно быть 50—55 кгс (490—540 Н), для РВ(З)-20 на 400 А 12—16 кгс (118—157 Н) или соответствовать паспортным данным.

Проверка работы разъединителей с ручным управлением производится выполнением 5—10 операций включения и отключения, а с дистанционным управлением — 25 таких операций при номинальном напряжении и 5—10 операций при пониженном напряжении на зажимах электромагнитов электродвигателей управления.

Испытание выключателей нагрузки и разъединителей многократными включениями и отключениями, проверка действия механизмов свободного расцепления и срабатывания приводов при пониженном напряжении производится так же, как у масляных выключателей.

Комплектные распределительные устройства. Масляные выключатели, измерительные трансформаторы, выключатели нагрузки, вентильные разрядники, разъединители, предохранители и силовые кабели, установленные в комплектных распределительных устройствах (КРУ) внутренней и наружной установки, испытываются в соответствии с объемом и нормами испытаний этого оборудования. Дополнительно измеряется сопротивление изоляции и испытываются повышенным напряжением полностью собранные КРУ, а также измеряется сопротивление контактов постоянному току и проводятся механические испытания.

Измерение сопротивления изоляции производится мегаомметром на напряжение 2500 В. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1000 МОм при приемо-сдаточных испытаниях и 300 МОм после капитального ремонта.

Измерение сопротивления изоляции вторичных цепей производят мегаомметром на напряжение 500—1000 В. Сопротивление каждого присоединения со всеми аппаратами должно быть не менее 1 МОм.

Испытание изоляции повышенным напряжением производится в соответствии с табл. 6.

Допустимые токи проводимости и пробивные напряжения
вентильных разрядников

Характеристика	Норма характеристики	
	PBC-15	PBC-20
Допустимый ток проводимости, мкА: минимальный	400	400
	620	620
Пределы действующего значения пробивного напряжения, кВ: не ниже	35	42
	51	64

Герметичность вентильных разрядников проверяется после капитальных ремонтов со вскрытием разрядником 300—400 мм рт. ст. (400—530 кПа). Изменение давления за 1—2 ч не должно превышать 0,5 мм рт. ст. (67 Па) (при перекрытом вентиле).

Наружная поверхность трубчатого разрядника не должна иметь ожогов электрической дугой, трещин, расслоений и царапин глубиной более 0,3—0,5 мм на длине более 1/3 расстояния между наконечниками.

Если внутренний диаметр газогенерирующей трубки трубчатого разрядника окажется увеличенным по сравнению с первоначальным больше чем на 40%, разрядник перемаркируют по пределам разрываемых токов. Внутренний искровой промежуток не должен отличаться от заданного более чем на ± 3 мм.

Измерение внешнего искрового промежутка и проверки расположения зоны выхлопа производят после установки трубчатого разрядника на опору. Искровой промежуток не должен отличаться от заданного значения. Зоны выхлопа не должны пересекаться и охватывать элементы конструкции и проводов, имеющих потенциал, отличный от потенциала конца разрядника.

Проверку завальцовки наконечников трубчатых разрядников РТФ производят приложением растягивающих усилий выборочно для 5% разрядников, проработавших более 5 лет. Испытательная нагрузка для разрядников РТФ-6 и РТФ-10 составляет 690 кгс (6750 Н), продолжительность приложения максимальной нагрузки 1 мин, скорость подъема 300—600 кгс/мин (3000—6000 Н/мин). Проверка завальцовки наконечников обычно производится в мастерских.

Болтовые контактные соединения при приемо-сдаточных испытаниях и после капитального ремонта выборочно проверяют на затяжку болтов в объеме 2—3%.

Измерения сопротивления контактов постоянному току производят выборочно. Сопротивление участка шин в месте контактного соединения не должно превышать более чем в 1,2 раза сопротивление участка шин той же длины без контакта. Сопротивление разъединяющихся контактов первичной цепи должно быть в пределах, указанных в заводских инструкциях, или, если они не приведены, то для контактов на 400 А оно должно быть не более 75 мкОм, на 600 А — не более 60 мкОм, на 900 А — не более 50 мкОм, на 1200 А — не более 40 мкОм, свыше 2000 А — не более 33 мкОм. Сопротивление разъединяющих (только скользящих) контактов вторичных силовых цепей должно быть не более 4000 мкОм.

Испытания выдвигаемых элементов вкатыванием и выкатыванием с проверкой взаимного вхождения втычных контактов, работы шторок, блокировок, фиксаторов и т. п., измерение контактного нажатия втычных контактов первичной цепи, проверка работы и состояния контактов заземляющих разъединителей производятся в соответствии с заводской инструкцией.

Разрядники. Сопротивление элементов у вентильных разрядников на номинальное напряжение до 3 кВ измеряется мегаомметром на напряжение 1000 В, а у разрядников 3 кВ и выше — мегаомметром 2500 В. Сопротивление разрядника или элемента не должно отличаться более чем на 30% от измерений на заводе или предыдущих измерений.

Сопротивление изоляции изолирующих оснований разрядников с регистраторами срабатывания измеряется мегаомметром 1000—2500 В. Значение измеренного сопротивления должно быть не менее 1 МОм.

Измерение тока проводимости производится у разрядников PBC-15 и PBC-20 при выпрямленном напряжении соответственно 16 и 20 кВ. При ремонте разрядников со вскрытием измеряется их пробивное напряжение. Допустимые пределы тока проводимости при температуре 20°C и допустимые пробивные напряжения приведены в табл. 8.

Вводы, проходные, опорные и подвесные изоляторы испытываются повышенным напряжением частоты 50 Гц в соответствии с табл. 6. Объект считается выдержавшим испытание, если при этом не наблюдалось пробоя, перекрытия, скользящих разрядов, выделения газа, а также, если после испытания не было местного нагрева изоляции. Вновь устанавливаемые фарфоровые подвесные изоляторы испытываются напряжением 50 кВ, прикладываемым к каждому их элементу.

Тангенс угла диэлектрических потерь измеряется у вводов и проходных изоляторов с основной бумажно-бакелитовой изоляцией. Предельные значения $\operatorname{tg} \delta$ при вводе в эксплуатацию у основной изоляции вводов на напряжение 6—20 кВ при температуре $+20^\circ\text{C}$ составляют 3%; в эксплуатации у вводов на напряжение 6—15 кВ — 12%, на напряжение 20 кВ — 7%. При эксплуатационных измерениях обращают внимание на характер изменения $\operatorname{tg} \delta$ и емкости с течением времени в отдельных зонах внутренней изоляции вводов.

У фарфоровых подвесных изоляторов сопротивление изоляции измеряется мегаомметром на напряжение 2500 В. Измерения производятся только при положительных температурах. Сопротивление каждого изолятора должно быть не менее 300 МОм.

Фарфоровые подвесные изоляторы проверяются одним из указанных способов. Изоляторы, установленные на сборных и соединительных шинах, проверяют только повышенным напряжением. Стекланные подвесные изоляторы электрическим испытаниям не подвергаются. Их состояние контролируют внешним осмотром.

Трансформаторное масло. Каждая партия свежего трансформаторного масла испытывается по показателям пп. 2—9 (кроме п. 3.) табл. 9. Масло, предназначенное для заливки в оборудование, работающее на Крайнем Севере, испытывается также по п.10. Кроме того, производят визуальный анализ масла многообъемных масляных выключателей на содержание взвешенного угля после отключения ими определенного количества коротких замыканий, а также определение температуры вспышки масла силовых трансформаторов при обнаружении горючего газа в газовом реле.

Испытания трансформаторного масла производятся в специализированных стационарных лабораториях. Проверка минимального пробивного напряжения может

производиться также на месте аппаратурой, установленной в передвижных электролабораториях.

Аппараты, вторичные цепи и электропроводка напряжением до 1000 В. Измерение сопротивления изоляции вторичных цепей управления, защиты и измерений производится мегаомметром на напряжение 1000—2500 В, а силовых электропроводок — мегаомметром только на 1000 В. Минимальное допустимое сопротивление изоляции каждого присоединения вторичных цепей и цепей питания приводов выключателей и разъединителей составляет 1 МОм, шинок оперативного тока и шинок цепей напряжения — 10 МОм, силовых и осветительных электропроводок, а также распределительных устройств, щитов и токоподводов — 0,5 МОм. Сопротивление изоляции вторичных цепей измеряется со всеми присоединенными аппаратами, а шинок постоянного тока — при отсоединенных цепях, осветительных сетей — до вворачивания ламп, но с подсоединением нулевого провода к корпусу светильника. Сопротивление изоляции силовых электропроводок измеряется при снятых плавких вставках на участке между смежными предохранителями или за последними предохранителями между любым проводом и землей, а также между двумя проводами. В распределительных устройствах сопротивление изоляции измеряется у каждой секции отдельно.

Изоляция цепей релейной защиты, электроавтоматики и других вторичных цепей со всеми присоединенными аппаратами испытывается повышенным напряжением 1000 В в течение 1 мин. Испытания проводятся обязательно при включении после монтажа и при первой плановой проверке. В последующей эксплуатации испытание повышенным напряжением может заменяться измерением мегаомметром на 2500 В. Вторичные цепи КРУ испытываются повышенным напряжением 1000 В.

Максимальные, минимальные и независимые расцепители автоматов с номинальным током 200 А и более проверяются на соответствие действия в пределах, указанных заводом. Работу контакторов и автоматов проверяют включением при $0,9U_n$ оперативного тока (5 операций), включением и отключением при U_n (5 операций) и отключением при $0,8U_n$ (10 операций).

Заземляющие устройства. Проверка выполнения элементов заземляющих устройств на ВЛ производится в населенной местности, на участках с наиболее агрессив-

Таблица 9

Допустимые значения показателей качества трансформаторного масла

Показатель качества масла	Значение показателя для масла						эксплуатационного всех марок
	свежего сухого перед заливкой в оборудование			непосредственно после заливки в оборудование			
	ГОСТ 982-68 (марки ТК _П)	ГОСТ 10121-76	ТУ 38-101-281-75	ГОСТ 982-68 (марки ТК _П)	ГОСТ 10121-76	ТУ 38-101-281-75	
1. Пробивное напряжение для оборудования, кВ, не менее: до 15 до 20	30 35	30 35	30 35	25 30	25 30	25 30	20 25
2. Содержание механических примесей	Отсутствие (определяется визуально)						Не более одного балла
3. Содержание взвешенного угля в масляных выключателях	—	—	—	—	—	—	—
4. Кислотное число, мг КОН на 1 г масла, не более	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,25
5. Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие						Не определяется
6. Температура вспышки, °С, не ниже	135	150	135	135	150	135	Снижение не более чем на 5°С от предыдущего значения
7. Натровая проба, баллы, не более	1	1	—	1	1	—	Не нормируется
8. Стабильность против окисления: количество осадка после окисления, %, не более	0,01	Отсутствует	0,01	—	—	—	Не нормируется
кислотное число окисленного масла, мг КОН на 1 г масла, не более	0,1	0,1	0,1	—	—	—	Не нормируется

Продолжение табл. 9

Показатель качества масла	Значение показателя для масла						эксплуатационного всех марок
	свежего сухого перед заливкой в оборудование			непосредственно после заливки в оборудование			
	ГОСТ 982-68 (марки ТК _П)	ГОСТ 10121-76	ТУ 38-101-281-75	ГОСТ 982-68 (марки ТК _П)	ГОСТ 10121-76	ТУ 38-101-281-75	
9. Тангенс угла диэлектрических потерь, %, не более: при 20°С при 70°С при 90°С	0,2 1,5 2,6	0,2 — —	— — 1,0	0,3 2,0 —	0,3 2,5 —	— — 1,5	— 7 —
10. Температура застывания, °С, не выше	—45	—45	—50	—	—	—	—

ными, оползневыми, выдуваемыми и плохо проводящими грунтами у 2% общего числа опор ВЛ.

Элементы заземляющих устройств ВЛ, находящиеся в земле, осматриваются со вскрытием грунта у 2% общего числа опор с заземлителями. Если разрушено более 50% сечения элемента заземления, его заменяют. Простукиванием и осмотром выявляют обрывы и дефекты. Надежность соединения естественных заземлителей с заземляющим устройством проверяют после каждого ремонта естественных заземлителей.

Максимально допустимые значения сопротивления заземляющих устройств приведены в табл.10.

Измерение сопротивления заземляющих устройств производится на подстанциях напряжением 20 кВ и ниже распределительных сетей.

На воздушных линиях напряжением выше 1000 В измеряется сопротивление заземлителей на опорах с электрооборудованием, разрядниками и защитными промежутками, а также при приемо-сдаточных испытаниях выборочно у 2% общего числа опор с заземлителями, а после капитального ремонта и при межремонтных испытаниях — выборочно у 2% общего числа опор с заземлителями в населенной местности, на участках

Таблица 10

Максимально допустимые значения сопротивления заземляющих устройств и заземлителей

Характеристика электроустановки	Сопротивление, Ом, не более
Заземляющие устройства	
1. Электроустановки напряжением выше 1000 В в сетях без компенсирующих аппаратов	10
2. То же с компенсирующими аппаратами	200/I, но не более 10, где I — расчетный ток замыкания на землю
3. То же, используемые одновременно и для электроустановок до 1000 В	100/I, но не более 10
Заземлители	
1. Отдельно стоящий молниеотвод в электроустановках выше 1000 В	25
2. Железобетонные и металлические опоры ВЛ 6—20 кВ в населенной местности, железобетонные, металлические и деревянные опоры ВЛ 6—20 кВ, на которых подвешен трос или установлены устройства грозозащиты	10 при ρ^* до 100 Ом·см; 15 при ρ^* 100—500 Ом·см; 20 при ρ^* 500—1000 Ом·см; 30 при ρ^* более 1000 Ом·см
3. Заземлители электрооборудования на опорах ВЛ 6—20 кВ	10
4. Железобетонные и металлические опоры ВЛ 6—20 кВ в ненаселенной местности	0,3· ρ^*
5. Опоры с повторными заземлителями нулевого провода в сетях до 1000 В с глухозаземленной нейтралью	15 для сети 660/380 В; 30 для сети 380/220 В; 60 для сети 220/127 В
6. Железобетонные и металлические опоры в сети до 1000 В с изолированной нейтралью	50
7. Заземлитель грозозащиты в сети до 1000 В	30

* ρ^* — удельное сопротивление грунта, Ом·см.

ВЛ с наиболее агрессивными, оползневыми, выдуваемыми или плохо проводящими грунтами.

На воздушных линиях до 1000 В измерение производится на опорах с заземлителями грозозащиты, с повторными заземлителями нулевого провода и выборочно у 2% общего числа опор.

Значение сопротивления петли фаза — нуль в установках напряжением до 1000 В с глухим заземлением

нейтрали должно быть таким, чтобы при замыкании между фазами и заземляющими проводниками возникал ток к. з., превышающий не менее чем в 3 раза номинальный ток ближайшей плавкой вставки или в 1,5 раза ток отключения максимального расцепителя соответствующего автоматического выключателя. В эксплуатации измерение производится только на ВЛ.

5. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

В стационарных (часто центральных) лабораториях энергосистем проводятся всевозможные испытания модернизируемых и разрабатываемых устройств. Объем и нормы этих испытаний электрооборудования определяются государственными стандартами. Электрооборудование испытывается в полностью собранном виде. До испытаний производится внешний осмотр, проверка размеров, регулировка и механические испытания отдельных узлов и контактных систем.

Электрические аппараты напряжением до 1000 В подвергаются испытаниям на нагрев от тока при длительной работе, проверке электрической прочности изоляции, предельной коммутационной способности, термической и динамической стойкости, износоустойчивости. У них определяются напряжения и токи срабатывания, при необходимости по условиям работы производится проверка оболочек аппаратов на водозащищенность, герметичность и пыленепроницаемость.

Электрические аппараты напряжением выше 1000 В испытываются на нагрев при длительной работе, на устойчивость при сквозных токах короткого замыкания, на коммутационную способность, у них определяется электрическая прочность изоляции, проводятся механические и другие испытания в соответствии с видом оборудования, местом его установки и условиями работы.

У силовых трансформаторов определяется коэффициент трансформации, проверяется группа соединений, измеряются сопротивления постоянному току, характеристики изоляции, потери холостого хода, напряжение короткого замыкания. Трансформаторы испытываются на нагрев, на динамическую и термическую стойкость и на маслоплотность.

Проверка электрической прочности изоляции. Электрооборудование 6—20 кВ испытывается напряжением

ем. Методика испытаний напряжением промышленной частоты дана в § 2. Испытание импульсным напряжением производится генератором импульсных напряжений (ГИН). Электрооборудование 6-20 кВ должно выдерживать испытание полным импульсом и срезанным импульсом. Полный униполярный аperiodический импульс имеет участки повышения напряжения (фронт импульса) и снижения напряжения (спад импульса). Время спада напряжения до половины максимального значения называется длиной импульса. Полный импульс имеет параметры: длительность фронта $1,2 \pm \pm 0,36$ мкс, длительность импульса 50 ± 10 мкс, допуск на амплитуду импульса $\pm 3\%$. Стандартный полный импульс принято обозначать «1,2/50».

Срезанный импульс ограничен временем от начала импульса до среза не менее 2 мкс. Испытание внутренней изоляции силовых трансформаторов и трансформаторов напряжения производится срезанным импульсом с временем среза от 2 до 3 мкс. Испытание полным импульсом предшествует испытанию срезанным импульсом. До приложения испытательного напряжения производится градуировка генератора импульсов при присоединенном объекте и напряжении 60% испытательного. При этом на осциллограммах определяется масштаб напряжения по осциллограммам импульса. Интервал между отдельными приложениями импульсов не менее 1 мин.

При определении мокроразрядных характеристик испытуемый объект устанавливается в рабочее положение. Зона равномерного дождя капельной структуры должна быть больше габарита испытуемого объекта. Сила дождя определяется посредством измерения в течение не менее 30 с ее вертикальной составляющей при помощи водосборника площадью от 100 до 750 см². Измерение силы дождя производится у верхней, средней и нижней точек объекта. У объектов высотой 100 см и менее измерение производится при силе дождя $3 \pm \pm 0,3$ мм/мин и при удельном сопротивлении воды 100 ± 5 Ом·м, измеренном при температуре воды 20°C. Дождь должен падать под углом приблизительно 45° к горизонтالي.

Испытание на нагрев проводится путем пропускания через электрооборудование номинального тока и определения превышения температуры частей электрооборудования над температурой окружающей среды при нор-

мальных условиях нагрузки и охлаждения. Испытание на нагрев производится при температуре окружающего воздуха от 10 до 35°C. Для измерения температуры в разных точках электрооборудования устанавливаются ртутные или спиртовые термометры. Если в местах измерения температуры имеются значительные электромагнитные поля, ртутные термометры не применяются. Температуру поверхностей объектов измеряют электрическими термометрами сопротивления или термопарами. При расхождении показаний термометров сопротивления и ртутных (или спиртовых) термометров показания последних принимают за истинные. Между термометром и местом измерения должен быть обеспечен надежный тепловой контакт, а при измерении температуры поверхностей, кроме того, необходимо защитить термометр теплоизолирующим покровом. Температуру окружающего воздуха измеряют тремя или более термометрами, расположенными не менее чем с трех сторон вокруг испытуемого объекта на расстоянии 1—2 м от него и на половине его высоты. Для защиты от посторонних воздушных течений термометры помещаются в отдельный сосуд объемом не менее 1 л, наполненный трансформаторным маслом. За температуру окружающего воздуха принимают среднее арифметическое показание всех термометров.

При испытаниях на нагрев температуру электрооборудования считают установившейся, если ее превышение над температурой окружающего воздуха изменяется не более чем на 1°C в час в течение 4 ч подряд. Среднюю температуру обмотки испытуемых трансформаторов определяют по ее сопротивлению постоянному току, которое измеряют обычными методами немедленно после отключения или под нагрузкой методом наложения постоянного тока.

Испытание на динамическую и термическую стойкость. Устойчивость электрооборудования — это его способность противостоять механическим и тепловым воздействиям при коротких замыканиях. Электродинамическая стойкость характеризуется максимальным (амплитудным) значением тока короткого замыкания, который электрооборудование выдерживает без повреждений. Термическая стойкость определяется током короткого замыкания, который электрооборудование выдерживает в течение определенного времени. Электро-

оборудование на месте испытания монтируется согласно условиям эксплуатации. Перед испытанием проверяется его исправность.

Испытание на динамическую стойкость проводится током, амплитуда которого отличается от соответствующего гарантируемого значения предельного сквозного тока не более чем на 10% в большую сторону и на 5% в меньшую. Амплитуду тока в момент включения напряжения устанавливают так, чтобы получить наибольшее значение ударного тока короткого замыкания. При испытаниях по однофазной схеме в трех опытах должна быть наибольшая аperiodическая составляющая тока, а при испытании по трехфазной схеме — наибольшая возможная аperiodическая составляющая тока должна быть в одной фазе. Трехфазное электрооборудование допускается испытывать пофазно.

Одновременно с динамическими испытаниями проводятся испытания на термическую стойкость. Действующее значение тока термической стойкости за время его прохождения должно быть равно гарантируемому току $\pm 15\%$. Наибольшая амплитуда тока термической стойкости за первый период равняется амплитуде предельного сквозного тока. При испытаниях производят осциллографическую запись напряжений и тока. По окончании испытаний электрооборудование подвергается осмотру и необходимым измерениям. Электрооборудование считается выдержавшим испытание, если нет видимых повреждений, результаты измерений не выходят за пределы норм и не нарушена электрическая прочность изоляции.

Испытание на коммутационную способность. Коммутационная способность аппарата определяется током, который он может отключить и включить при заданном напряжении. Испытания на коммутационную способность проводятся на специальных испытательных стендах, которые обеспечивают требуемые токи отключения и включения при соответствующих параметрах восстанавливающегося напряжения и коэффициента мощности. Значения тока и напряжения определяются по осциллограмме.

Коммутационная способность аппаратов напряжением до 1000 В характеризуется наибольшей отключающей способностью, наибольшей включающей способностью и критической отключающей способностью. Наибольшую

отключающую способность определяют по наибольшему амплитудному значению тока, который может быть отключен аппаратом с момента размыкания его контактов. Наибольшую включающую способность определяют по наибольшему амплитудному значению тока, который может быть включен аппаратом.

В аппаратах напряжением выше 1000 В отключающую способность характеризуют двумя величинами, соответствующими моменту расхождения контактов: симметричным током — эффективным значением периодической составляющей I_{\sim} и относительным содержанием аperiodической составляющей

$$\beta = \frac{I_{\sim}}{I_{\sim} \sqrt{2}},$$

где I_{\sim} — значение аperiodической составляющей в момент расхождения контактов.

Критическую отключающую способность характеризуют зоной действующих значений токов, которые аппарат не способен отключать. При этом все большие токи, вплоть до токов наибольшей отключающей способности, и все меньшие токи могут быть отключены аппаратом.

Для регулирования тока и постоянной времени (коэффициент мощности) последовательно с испытуемым аппаратом включают индуктивное и активное сопротивление. В качестве реактивной нагрузки применяют реакторы без стальных сердечников.

Испытания выключателей на коммутационную способность регламентируются ГОСТ 687-70 и 17717-72. При испытаниях отключают токи, составляющие 10, 30, 60 и 100% номинального тока отключения, отключают токи, в диапазоне которых длительность горения дуги значительно возрастает (критические токи); включают токи; и для выключателей с АПВ отключают и включают токи в циклах: О — t — ВО — T — О — t — ВО, О — t — ВО — 180 — ВО, О — t — ВО — 20 — ВО; а для выключателей без АПВ О — 180 — ВО — 180 — ВО.

Здесь О — операция отключения; ВО — операция включения и отключения без выдержки времени; t — минимальная бестоковая пауза при АПВ; T — промежуток времени (15 мин) между операциями; 180 — промежуток времени, с.

Для трехполюсных выключателей 6—20 кВ с дугогасительными контактами в каждом полюсе испытания

на коммутационную способность производятся в трехфазном режиме. При отключениях выключателя междуполюсное напряжение должно быть равно линейному напряжению сети.

Выключатели нагрузки на коммутационную способность испытываются в нормальном режиме. Испытательная схема состоит из источника питания и нагрузки. Коэффициент мощности нагрузки от 0,65 до 0,75. Нагрузка состоит из индуктивных и активных сопротивлений, соединенных параллельно. Выключатели нагрузки также испытываются на отключение токов холостого хода трансформаторов, зарядных токов линий и емкостных токов конденсаторных батарей.

Измерение потерь и напряжения короткого замыкания. При опыте короткого замыкания трансформатора одну из его обмоток замыкают накоротко, а другую питают номинальным током от источника. Для замыкания обмотки накоротко пользуются короткими проводниками, рассчитанными на номинальный ток обмотки.

Для измерения тока, напряжения и потерь применяют те же схемы, что при опыте холостого хода (см. рис. 20). Опыт короткого замыкания производят на номинальной ступени напряжения обмоток. Напряжение и ток трехфазных трансформаторов определяют как средние арифметические значения показаний приборов всех фаз.

Испытательные стенды. На экспериментально-испытательных установках проводятся приемо-сдаточные испытания нового электрооборудования и опытно-исследовательские работы. В Латвийской энергосистеме такая установка сооружена на одной из подстанций, где установлены три трансформатора мощностью 3 · 32 МВ · А. К распределительному устройству испытательной установки (рис. 43) присоединены испытательный стенд и два трансформатора для термодинамических испытаний. Испытательный стенд дает возможность проводить испытания электрооборудования 20 и 10 кВ в режимах нормальной работы и короткого замыкания. Испытания могут проводиться в трехфазном и двухфазном режимах и во всех режимах замыкания на землю. Значение тока и коэффициент мощности в испытательной цепи регулируются воздушными реакторами и реостатами. Омическое сопротивление каждого реактора 1 Ом, а индуктивное — 12 Ом. Общее количество реакторов — 12.

Включение на короткое замыкание и отключение при испытаниях осуществляются воздушными выключателями ВВН-35.

Испытываемое оборудование *ИО* размещается в испытательной камере. Разрез и основные размеры камеры, которые определялись габаритами электрооборудования 35 кВ, приведены на рис. 44. Регулировочное и измерительное оборудование размещено в двух закры-

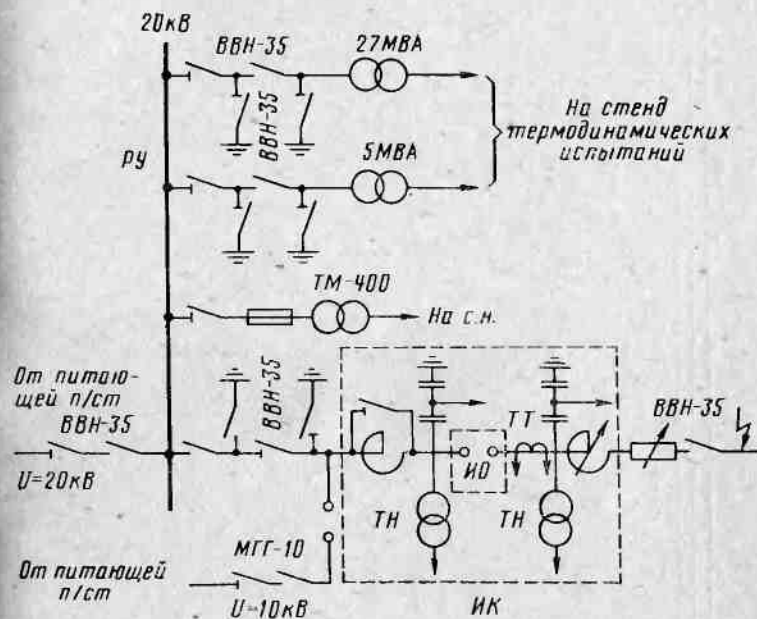


Рис. 43. Принципиальная схема сетевого испытательного стенда.

тых ячеек, расположенных по краям испытательной камеры. Для измерения токов и напряжений в различных диапазонах в камере имеется несколько комплектов трансформаторов напряжения и многопредельный трансформатор тока. Для записи на катодном осциллографе высокочастотных переходных процессов установлены делители напряжения. К испытательной камере подведена сеть постоянного напряжения 110 В и переменного напряжения 380/220 В. От подстанции подведена магистраль сжатого воздуха с давлением 20 кгс/см²

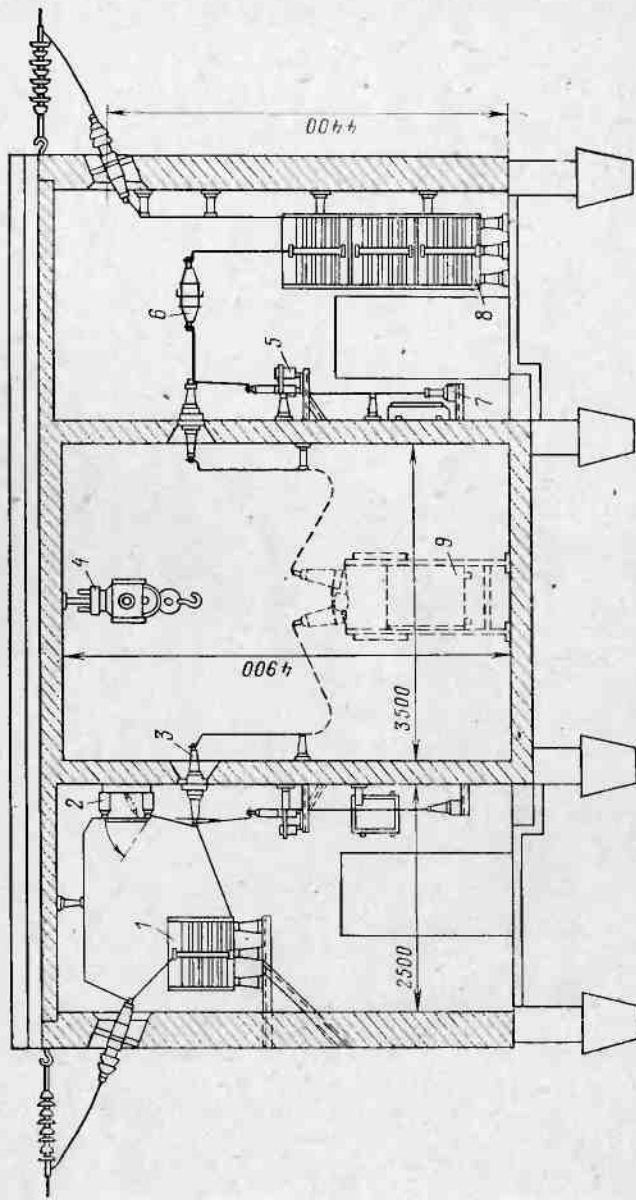


Рис. 44. Испытательная камера.

1 — воздушный реактор; 2 — разветвитель; 3 — проходной изолятор; 4 — тельфер; 5 — трансформатор напряжения; 6 — трансформатор тока; 7 — делитель напряжения; 8 — комплект реакторов; 9 — объект испытания.

(2 МПа). Подготовка аппаратов к испытаниям производится в испытательной камере или на открытой площадке. Управление испытаниями производится с пульта управления, который находится в помещении, где установлены измерительно-осциллографное устройство, релейная защита, световая и звуковая сигнализация.

Вторичные цепи от измерительных трансформаторов и датчиков выведены на специальный коммутатор. Сборка схемы производится на коммутаторе при помощи штекеров. Для регистрации процессов применяются электромагнитные осциллографы Н-700, Н-105 и 9СО-302, а также катодные осциллографы с механической разверткой НО23 и 6 КМ. Управление опытами производится автоматически с помощью прибора автоматического управления опытом (ПАУ). Этот прибор обеспечивает необходимую временную последовательность включения и отключения коммутационных аппаратов испытательной схемы, измерительно-осциллографного и фото-киноръемного оборудования. Наблюдение за испытываемым объектом во время испытания ведется из камеры для наблюдений или из комнаты измерений при помощи телевизионной установки ПТУ-26. Процесс испытаний фотографируется из камеры для наблюдений или автоматически через фотолюки в испытательной камере.

Система заземления испытательного стенда выполнена в виде металлической сетки, заложеной в землю под всей площадью стенда. С этой сеткой соединены все заземленные части оборудования и измерительных устройств.

На стенде выполняются испытания аппаратуры в процессе ее разработки, испытания на соответствие стандартам и испытания усовершенствованного оборудования. В частности, проводятся испытания выключателей с модернизированной контактной системой, испытания с целью определения сроков между ревизиями выключателей по допустимому количеству отключений токов нагрузки и токов короткого замыкания, испытания трансформаторов, выключателей нагрузки, предохранителей и другого оборудования.

Испытания электрооборудования на динамическую и термическую стойкость, тепловые испытания и определение коммутационной способности аппаратов с номинальным напряжением до 2,5 кВ проводятся на стенде термодинамических испытаний (рис. 45). Источниками

тока служат трансформатор напряжением 20/0,13—2,5 кВ мощностью 5000 кВ·А и трансформатор напряжением 20/0,38—1,5 кВ мощностью 27000 кВ·А. Обмотки низкого напряжения этих трансформаторов секционированы. Необходимые токи и напряжения устанавливаются соответствующими переключателями секций при помощи специальных переключающих устройств

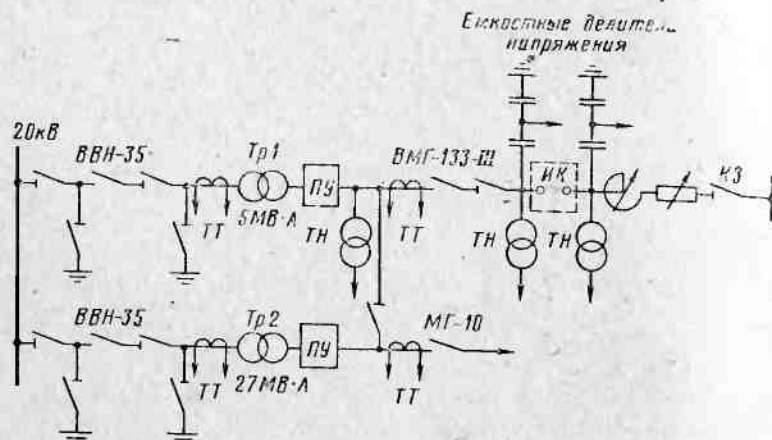


Рис. 45. Принципиальная схема стенда термодинамических испытаний.

(ПУ). Трансформаторы позволяют производить длительные испытания при токе до 6000 А и напряжении до 1,5 кВ на фазу и испытания в режиме трехфазного короткого замыкания при установившемся значении тока — до 60 кА и ударном токе до 150 кА. Испытуемый объект устанавливают в испытательную камеру ИК, напряжение к которой подводится через выключатель VMF-133-III. Если по режиму испытаний требуется включение испытуемого объекта при определенном мгновенном значении тока или напряжения, то используется специальный однофазный короткозамыкатель, управляемый от ПАУ.

Тепловые испытания оборудования производятся в специальной камере, которая имеет мостовой кран. Для принудительного охлаждения установлены вентиляторы. Имеются составные камеры, имитирующие камеры комплектных распределительных устройств. Напряжение к камерам для тепловых испытаний подводится через

выключатель МГГ-10. Измерительная аппаратура установлена в оперативном помещении. Тепловой режим испытуемого оборудования контролируется термодатчиками и термометрами.

На установке термодинамических испытаний проводятся тепловые испытания токоограничивающих реакторов 6—10 кВ и термодинамические испытания коммута-

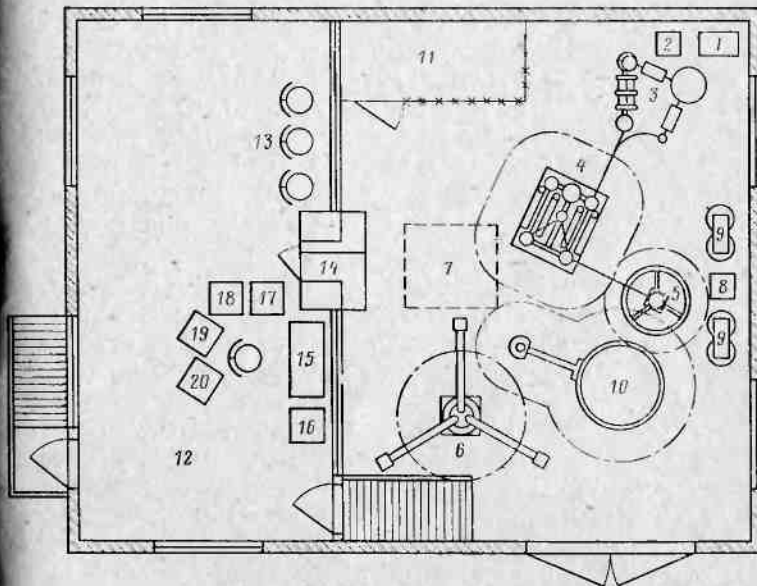


Рис. 46. План высоковольтной лаборатории.

1 — разделяющий трансформатор; 2 — регулировочный трансформатор; 3 — зарядное устройство; 4 — импульсный генератор; 5 — R-C-делитель; 6 — измерительные шары; 7 — испытуемый объект; 8 — регулировочный трансформатор; 9 — разделяющий трансформатор; 10 — испытательный трансформатор; 11 — распределительное устройство; 12 — помещение измерений и управления испытаниями; 13 — место для наблюдений; 14 — фотолаборатория; 15 — пульт управления импульсным генератором; 16 — пульт управления испытательным трансформатором; 17 — измеритель максимальных значений импульсного напряжения; 18 — установка распределения импульса; 19 — катодный осциллограф ЗОК-20; 20 — катодные осциллографы КОГ-1, ОК-25.

ционной аппаратуры, испытания комплектных трансформаторных подстанций и электрооборудования низкого напряжения.

Электрическая прочность изоляционных материалов и электрооборудования в целом испытывается на установке высокого напряжения промышленной частоты и гене-

раторе импульсных напряжений. Установки расположены в испытательном зале высоковольтной лаборатории площадью 11-12 м², высотой 7 м (рис. 46). Зал освещается лампами дневного света. Применяется единая система заземления с сопротивлением 0,2 Ома.

Испытательная импульсная установка предназначена для испытания электрооборудования импульсами положительной или отрицательной полярности со стандартной волной 1,2/50 мкс и амплитудой до 1000 кВ или срезанной волной. Ее энергия разряда составляет 8,8 кВт·с, потребляемая мощность — 10 кВ·А, емкость 0,0175 мкФ при работе всех восьми каскадов. Зарядное устройство импульсного генератора подключается к сети 220/380 В через разделительный трансформатор. Для измерения импульсного напряжения предусмотрен активно-емкостный делитель напряжения, к которому подключаются осциллографы и измеритель амплитудных значений импульсного напряжения.

Управление импульсным генератором производится с пульта управления, снабженного необходимыми измерительными приборами, коммутационной и защитной аппаратурой.

Для испытания изоляции электрооборудования переменным напряжением промышленной частоты служит установка высокого напряжения. Испытательное напряжение регулируется от 0 до 310 кВ. При полном напряжении мощность установки составляет 150 кВ·А. Испытательный трансформатор питается от регулировочного устройства, состоящего из регулировочного трансформатора 0—500 В, 310 А и двух разделяющих трансформаторов. Установка подключена к трансформатору собственных нужд (с. н.) 0,4 кВ и обслуживается оператором с пульта управления. Измерительно-осциллографная аппаратура для испытательного трансформатора и импульсного генератора общая. Предусмотрена переносная дождевальная установка для определения мокроразрядных характеристик и масляный бак для испытания изоляторов на пробы. Имеется комната для проявления и обработки осциллограмм.

На установке высокого напряжения проводились испытания по определению импульсной прочности изоляции коммутационной аппаратуры 20 кВ, реакторов 6—10 кВ, выключателя нагрузки, автоматического секционирующего отделителя, стеклянных изоляторов и др.

Окончательные испытания нового электрооборудования производятся в полевых условиях на подстанциях в сетях энергосистемы. Целью полевых испытаний является проверка данных, полученных при лабораторных испытаниях. Место испытаний выбирают, исходя из возможности получения требуемых характерных условий работы испытываемого электрооборудования и с учетом добавочных факторов: расстояния, доступности, легкости установки оборудования и быстроты обслуживания. Так, например, для испытания выключателя нагрузки 20 кВ выбиралась разветвленная сеть со сравнительно большим емкостным током (не компенсированная сеть), до 60 А и сельскохозяйственной нагрузкой. Измерительная аппаратура, аппаратура управления и связи устанавливается в специально оборудованном передвижном фургоне, который снабжен также независимым источником питания (двигатель-генератор мощностью 4,5 кВт·А). Кабели для измерительных приборов и аппаратуры управления находятся на барабанах. Испытания проводятся по заранее составленной и утвержденной программе. При испытаниях осуществляется надежная связь с оператором, проводящим испытания, оперативным персоналом, производящим переключения в сети, и диспетчером сетевого предприятия.

В полевых условиях проверялись выключатель нагрузки, автоматический секционирующий отделитель, приборы для определения места короткого замыкания, устройства бесконтактной автоматики и защиты, исследовались различные режимы работы электрических сетей и проверялась работа электрооборудования в этих режимах.