



БПОУ ВО «ГРЯЗОВЕЦКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»

РАСМОТРЕНО

СОГЛАСОВАНО

Цикловой комиссии
Протокол № 1
От «31» августа 2018г.
Председатель ЦК
 Н. Н. Абанина

Зам. директора по ОМР
 Е.А. Ткаченко
«31» августа 2018г.

**Методические рекомендации по организации к выполнению
практических (лабораторных) работ студентов**

ПМ.02 Проверка и наладка электрооборудования

Профессия 13.01.10 Электромонтёр по ремонту и обслуживанию
электрооборудования (по отраслям)

2018 г.

Практическая работа

Тема: Порядок выполнения наладочных работ.

Цель работы: Изучить этапы и объем пуско-наладочных работ, методику выявления неисправностей электрооборудования.

Методическая часть работы

Пусконаладочные работы по электротехническим устройствам выполняют в четыре этапа.

- На первом этапе* персонал пусконаладочной организации должен:
- изучить полученную от заказчика электрическую часть проекта, ее связь с технологией производства, техническую документацию предприятий-изготовителей;
 - разработать и согласовать с заказчиком рабочую программу и проект производства пусконаладочных работ (ППР), включающий мероприятия по технике безопасности;
 - получить от заказчика характеристики установок электрических аппаратов устройств защиты и автоматики;
 - передать заказчику замечания по проекту и оборудованию, выявленные в процессе анализа проекта, разработки рабочей программы и проекта производства работ;
 - подготовить необходимые инструкции, технологические карты и методические указания по наладке, приборы, инструменты и приспособления, необходимые формы отчетной документации (протоколов).

В проекте производства работ должны быть учтены следующие вопросы:

- объем предстоящих наладочных работ, степень их сложности и согласованные с заказчиком сроки выполнения;
- численность и квалификация персонала, необходимого для выполнения пусконаладочных работ, и его закрепление за отдельными установками, узлами и зонами;
- организация технической подготовки (обучение) наладочного персонала;
- программы наладки отдельных видов электрооборудования; возможный объем наладочных работ, выполнение которых планируется до монтажа электрооборудования на объекте (предварительная наладка вне монтажной

зоны);

- перечень приборов, инструментов, испытательного оборудования и приспособлений, необходимых для выполнения наладочных работ, а также материалов и оборудования для монтажа временных сетей электроснабжения;
- организационные и технические мероприятия по технике безопасности на весь период производства пусконаладочных работ.

На втором этапе производятся пусконаладочные работы вместе с электромонтажными, с подачей напряжения по временной схеме. Совмещенные работы выполняются с соблюдением требований действующих правил техники безопасности. До пусконаладочных работ в электротехнических помещениях должны быть закончены все строительные работы, включая и отделочные, закрыты проемы, колодцы и кабельные каналы, убраны леса, выполнены освещение, отопление и вентиляция, закончена установка электрооборудования с его заземлением. На этом этапе проверяют смонтированное электрооборудование с подачей напряжения от испытательных схем на отдельные устройства при отсутствии электромонтажного персонала в зоне наладки и соблюдении мер безопасности в соответствии с требованиями СНиП и ПТБ. Выявленные в процессе испытаний и настройки дефекты в электрооборудовании устраняет заказчик, а дефекты и ошибки в монтаже — электромонтажная организация. По результатам проверки пусконаладочных работ составляют протоколы испытания заземления, измерения и испытания изоляции, настройки защит и релейно-контакторной аппаратуры, один экземпляр исполнительных принципиальных схем объектов электроснабжения, включаемых под напряжение.

На третьем этапе пусконаладочные работы проводятся с подачей напряжения по постоянной схеме для индивидуальных испытаний электрооборудования. В начале этапа вводят эксплуатационный режим в электроустановках и оформляют допуск наладочного персонала согласно действующим ПТБ при эксплуатации электроустановок. Выполняют настройку параметров электрооборудования, опробование схем управления, защиты и сигнализации, а также электрооборудования на холостом ходу для подготовки к индивидуальным испытаниям технологического оборудования. При индивидуальных испытаниях технологического оборудования уточняют параметры, характеристики и уставки защит электроустановок.

На третьем этапе электрооборудование обслуживает заказчик, который обеспечивает расстановку эксплуатационного персонала, сборку и разборку электрических схем, а также технический надзор за состоянием электротехнического и технологического оборудования. После проведения индивидуальных испытаний технологического оборудования электрооборудование считается принятым в эксплуатацию. Заказчику передают протоколы испытаний электрооборудования повышенным напряжением, проверки устройств заземления и зануления, исполнительные принципиальные схемы. Остальные протоколы наладки электрооборудования могут быть переданы заказчику в двухмесячный срок, а по технически сложным объектам — в течение 4 месяцев после приемки объекта в эксплуатацию. Окончание пусконаладочных работ на этом этапе оформляется актом технической готовности электрооборудования для комплексного опробования.

На четвертом этапе пусконаладочных работ производится комплексное опробование электрооборудования по согласованным программам. Проверяется взаимодействие электрических схем и систем электрооборудования в различных режимах. В ходе этих работ осуществляется:

- обеспечение взаимных связей, регулировка и настройка характеристик и параметров отдельных устройств и функциональных групп электроустановки для создания в ней заданных режимов работы;
- опробование электроустановки по полной схеме под нагрузкой во всех режимах работы для подготовки к комплексному опробованию технологического оборудования.

В период комплексного опробования электрооборудование обслуживает заказчик. Работа пусконаладочной организации считается законченной после подписания акта приемки пусконаладочных работ.

Контрольные вопросы по 1 разделу практической работы:

- 1. Каковы основные этапы выполнения пусконаладочных работ?*
- 2. Когда производят наладочные работы с подачей напряжения по временной схеме?*
- 3. В каком порядке проводят комплексное опробование электрооборудования?*

Методическая часть работы

ПРОВЕРКА СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ И МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Для контроля состояния механической части электрооборудования необходим его осмотр, в процессе которого выявляют общее состояние оборудования, все наружные дефекты, проверяют раствор и провал контактов аппаратов, взаимодействие отдельных механических частей оборудования (одновременность замыкания контактов и правильность действия блок-контактов автоматического выключателя, пускателей, контакторов и реле; работу механизма свободного расцепления у автоматических выключателей, выключателей нагрузки и масляных выключателей с ручным приводом и т. д.), т. е. работоспособность оборудования без подачи на него напряжения (опробование от руки). Механическое состояние электрических машин проверяют внешним осмотром, проворачиванием вала вручную (малых машин), затем после соответствующих испытаний опробованием на холостом ходу или на холостом ходу с механизмом (если невозможно разъединить приводную машину с механизмом, например вентилятор на оси электродвигателя) и под нагрузкой с проверкой нагрева, вибрации и тока, потребляемого машиной, работы системы охлаждения.

Механическое состояние *измерительных трансформаторов, реакторов, комплектных распределительных устройств, различных шкафов, щитов* и т. д. определяется только внешним осмотром и поведением уже после включения оборудования в работу.

Состояние *магнитопроводов* оценивается в результате проверки тока и потерь холостого хода, снятия характеристик намагничивания, замеров напряжения срабатывания и времени отпадания. У измерительных трансформаторов тока и дросселей снимают характеристики зависимости тока намагничивания $I_{\text{ном}}$ в обмотке от приложенного к ней напряжения U , по которым можно обнаружить витковые

замыкания. Эти характеристики необходимы для проверки погрешности трансформаторов тока для их использования в схемах релейной защиты при данных нагрузках. Резкое снижение кривой намагничивания (рис. 1) в начальной ее части (до перегиба) свидетельствует о наличии в трансформаторе междувитковых повреждений. При малом количестве замкнутых витков кривая изменяется в начальной части, при большом количестве — в области насыщения.

Состояние *магнитопроводов реле* проверяют при подаче рабочего напряжения и замерах напряжения втягивания, времени отпадания. Вибрация магнитопровода контактора или реле переменного тока говорит о его неисправности (отсутствие короткозамкнутого

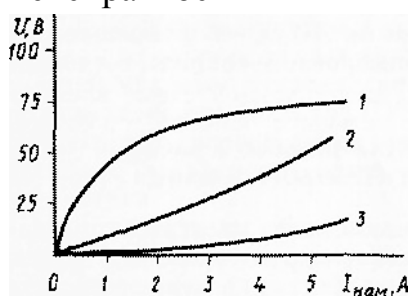


Рис. 1 Характеристики намагничивания при исправном трансформаторе тока (1), замыкании двух (2) и девяти (3) витков, загрязнение или перекос прилегающих плоскостей электромагнитов. Поэтому иногда приходится менять контактор или реле.

Состояние *магнитопроводов электрических машин* определяют измерением токов холостого хода (у электродвигателей переменного тока), снятием нагрузочных характеристик (у машин постоянного тока) и сравнением полученных характеристик с заводскими.

Наиболее часто при наладке оборудования встречаются такие дефекты:

- неисправность устройства переключения обмоток силовых трансформаторов (отсутствие фиксации привода в нужном положении, механические повреждения приводов, отсутствие в переключателе контакта, неправильное соединение отпаяк)
- дефекты корпуса оборудования (повреждения во время транспортировки, хранения и монтажных работ, повреждения уплотнений, болтовых и сварочных соединений, неплотные стыки и т.п.)
- дефекты коммутационной аппаратуры (неудовлетворительное состояние или полное отсутствие искрогасительных камер, плохая

регулировка привода, тяг и контактной системы, замыкающих и размыкающих контактов)

- неисправности обмотки (механические повреждения, отклонение номинальных данных от проекта, нарушение междувитковой изоляции, увлажнение изоляции, превышение допустимых значений отклонений сопротивления обмоток постоянному току, нарушение соединений в токопроводах и выводах, в обмотках, несоответствие маркировки и групп соединений заводским паспортам, требованиям ГОСТа и другим документам)
- дефекты силовых кабелей (дефекты соединительных муфт, повреждения изоляции и ее оболочек, видимые дефекты концевых заделок, обрывы жил)
- неисправности магнитопроводов (засорение каналов вентиляции – роторов и статоров машин), механические повреждения и коррозия, которые приводят к замыканию листов стали между собой, слабая затяжка болтов у трансформаторов, нарушение изоляции стяжных болтов, нарушение зазоров, а также неплотное прилегание отдельных частей пускателей, контакторов, электромагнитов и реле друг к другу, неисправности заземляющих устройств (несоответствие сопротивлению заземлителя требованиям инструкций, ПТЭ, ПУЭ, дефекты соединений заземляющих проводников с корпусами оборудования)
- дефекты фарфоровой изоляции (внутренние дефекты, наружные повреждения в виде трещин, повреждений сваркой, сколов, течь масла в конденсаторах, вводах трансформаторов из-под уплотнений)

Требования к электрооборудованию и общие неисправности определяют общую методику их выявления. Данная методика основана на следующей последовательности групп измерений, проверок и испытаний:

- испытания и замеры для определения состояния изоляции токоведущих частей оборудования
- проверка состояния магнитной системы и механической части, испытания и замеры для определения состояния токоведущих частей и качества контактных соединений оборудования
- проверка схем электросоединений
- проверка, настройка и испытания устройств релейной защиты, сигнализации, управления, автоматики и других вторичных устройств, окончательная оценка пригодности к использованию

электрооборудования (индивидуальная и комплексная проверка работы)

Контрольные вопросы по 2 разделу практической работы:

1. Способы определения состояния механической части различного электрооборудования.
2. Дефекты механической части различного электрооборудования.
3. Способы выявления дефектов механической части электрооборудования.

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Ответы на контрольные вопросы по 1 разделу практической работы.
4. Ответы на контрольные вопросы по 2 разделу практической работы.
5. Заполнить таблицы:

«Таблица основных этапов пусконаладочных работ».

Этапы пусконаладочных работ	Характеристика этапа	Основные документы	Деятельность руководителя пусконаладочных работ	Деятельность исполнителей пусконаладочных работ

Таблица: «Испытания электрооборудования».

Виды испытаний	Основные документы, в соответствии с которыми проводят испытания	Место проведения испытаний	Цель испытаний	Деятельность персонала при проведении испытаний

--	--	--	--	--

Практическая работа

Тема: Действие электрического тока на человека.

Цель работы: Рассмотреть расчет действия электрического тока на человека и изучить факторы, влияющие на его величину.

Методическая часть работы

Повреждение, причиненное организму человека электрическим током, называется электротравмой. Прокатные цехи металлургических предприятий оснащены большим количеством электросетей и электроустановок. Электрический ток оказывает весьма своеобразное действие на организм человека. Проходя через тело человека, электрический ток раздражает и (возбуждает живые ткани организма, вызывая непроизвольные судорожные сокращения мышц, в том числе дыхательных мышц грудной клетки и мышцы сердца. При этом могут возникнуть различные нарушения в организме, а также прекращение дыхания или деятельности сердца.

При прохождении электрического тока через организм человека, имеющий определенное сопротивление, возникают различные тепловые эффекты, которые также влияют на деятельность внутренних органов. Помимо этого, электрический ток проявляет и электролитическое действие, вызывающее в тканях организма сложные физико-химические изменения. Воздействуя на центральную нервную систему, электрический ток вызывает расстройство деятельности жизненно важных органов.

Воздействие электрического тока приводит к двум видам поражения организма: электрическим травмам и электрическому удару. Электрической травмой является местное поражение организма в виде ожогов, металлизации кожи и механических повреждений. Электрический ожог может быть вызван протеканием тока непосредственно через тело человека либо воздействием электрической дуги. Наиболее распространенным видом электротравмы в прокатных цехах являются ожоги, вызванные электрической дугой. Они обусловлены большой энергией и высокой температурой дуги и носят, как правило, тяжелый характер [33]. Одновременно с ожогом электрическая дуга приводит к металлизации кожи, т. е. проникновению в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, испарившихся под воздействием высокой температуры электрической дуги.

Следствием непроизвольных сокращений мышц под воздействием тока могут быть разрывы кожи, кровеносных сосудов, нервной ткани, вывихи суставов, а также отрывные и компрессионные переломы костей.

Электрическая травма, как правило, сопровождается электрическим ударом, т. е. воздействием тока на жизненно важные органы человека, поражением всего организма в целом, что может привести к его гибели. При этом внешних местных повреждений организма может и не быть. Электрические удары в зависимости от степени поражения организма, условно подразделяют на четыре степени: I—судорожное сокращение мышц без потери сознания; II — судорожное сокращение мышц с потерей сознания; III — потеря сознания и нарушение функции сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе); IV — клиническая смерть.

Результат поражения электрическим током зависит от ряда факторов: электрического сопротивления тела человека, величины и длительности протекания тока через него; вида и частоты тока, индивидуальных свойств человека.

Характеристика действия электрического тока на человека в зависимости от величины тока, без учета напряжения прикосновения и напряжения установки, длительности воздействия, частоты тока и пути тока приведена в табл. 3.

Таблица 3. Характеристика воздействия электрического тока на человека

Ток, мА	Переменный ток частотой 50—60 Гц	Постоянный ток
---------	-------------------------------------	----------------

0,6-1,5	Начало ощущения, легкое дрожание пальцев рук	Не ощущается
2-3	Сильное дрожание пальцев рук	Не ощущается
5-10	Судороги рук	Зуд, ощущение нагрева
12-15	Руки трудно самостоятельно оторвать от электродов, сильные боли в руках	Усиление нагрева
20-25	Немедленный, паралич рук, оторвать их от электродов невозможно, очень сильные боли, затруднение дыхания	Еще большее усиление нагрева, незначительное сокращение мышц рук, судороги
50-80	Паралич дыхания, начало трепетания желудочков сердца	Сильное ощущение нагрева, сокращение мышц рук, судороги.
90-110	Паралич дыхания, при длительности воздействия тока 3 сек и более — установившееся трепетание желудочков (паралич сердца)	Паралич дыхания

Электрическое сопротивление тела человека складывается из сопротивления его внутренних органов и кожи. Внутренние органы имеют сопротивление 300—600 ом, а верхний слой кожи толщиной 0,05—0,2 мм, состоящий из ороговевших клеток (эпидерма), обладает значительно большим сопротивлением, которое практически определяет общее сопротивление тела человека.

При сухой, чистой и неповрежденной коже сопротивление Тела человека колеблется в пределах от 2000 до 12 ом. Увлажненная и загрязненная кожа значительно повышает опасность поражения током, так как сопротивление тела резко уменьшается. Наименьшее сопротивление (300—500 Ом) имеет место при повреждении кожи. Сопротивление тела уменьшается с увеличением тока и времени его протекания. При расчетах сопротивление тела принимают равным 1000 Ом.

Основным фактором, от которого зависит исход поражения, является величина силы тока, протекающего через тело человека. Наиболее опасным является действие переменного тока промышленной частоты силой 25-50 А и напряжением 110, 220, 380 В и выше.

Наряду с величиной силы тока, проходящего через тело человека, существенное значение имеет частота тока. Токи высокой частоты менее опасны в отношении электрического удара, они опасны в основном с точки зрения теплового нагрева и влияния электрического поля. Для установления границы безопасных условий ориентируются не на безопасную силу тока, а на допустимое безопасное напряжение. Это удобно и тем, что для каждой сети напряжение электрического тока постоянно. В зависимости от окружающих условий за безопасное напряжение принято напряжение 12—36 В.

Тяжесть поражения зависит от пути прохождения электрического тока через тело человека. Если ток при электротравме протекает через тело человека по пути «рука — рука» или «рука — нога», часть его проходит непосредственно через сердечную мышцу. При этом возникают разновременные и хаотические сокращения отдельных волокон сердечной мышцы, которые могут привести к остановке кровообращения. В тех случаях, когда ток почти не затрагивает область грудной клетки, описанное явление сокращения мышц сердца не наступает даже при силе тока порядка нескольких ампер.

Серьезное влияние на исход электротравмы имеет продолжительность действия тока. Прежде всего от времени его воздействия зависит электрическое сопротивление тела. Оно уменьшается по мере прохождения тока в результате прогрессирующего прогревания и пробивания рогового слоя кожи. При кратковременном воздействии тока, как показали исследования, опасность поражения зависит от того, с каким периодом работы сердца совпадает момент прохождения тока. Особо чувствительным к прохождению тока сердце является в стадии расслабления (период между последовательными сокращениями и расширениями предсердий и желудочков сердца, длящийся около 0,1 сек).

При несовпадении момента прохождения тока с фазой расслабления сердца даже токи значительной величины (до 10 А) не вызывают его паралича. Следовательно, чем короче время прохождения тока, тем меньше вероятность такого совпадения и меньше опасность поражения.

Степень опасности поражения электрическим током зависит также от того, каким образом произошло включение человека в электрическую цепь.

Двухфазное прикосновение в системах трехфазного тока представляет собой одновременное присоединение человека к двум различным фазам одной и той же системы, находящейся под напряжением. Человек оказывается включенным под полное линейное напряжение сети 1.

Под однофазным включением понимается прикосновение человека к токоведущим частям одной фазы установки, находящейся под напряжением. В установках с изолированной нейтралью человек, прикасаясь к одной из фаз непосредственно или через проводник тока с сопротивлением, близким к

нулю (металлические трубы, инструмент и пр.), оказывается включенным по отношению к двум другим фазам через сопротивление изоляции проводов относительно земли (рис. 1). При заземленной нейтрали источника тока напряжение фазных проводов относительно земли при нормальном режиме работы сети равно фазному напряжению. В этом случае человек, коснувшийся непосредственно фазы, оказывается под напряжением, близким по величине к фазному, т. е. приблизительно в 1,7 раза меньше линейного (рис. 2).

Максимальную опасность для жизни в системах трехфазного тока представляет прикосновение человека к двум фазам.

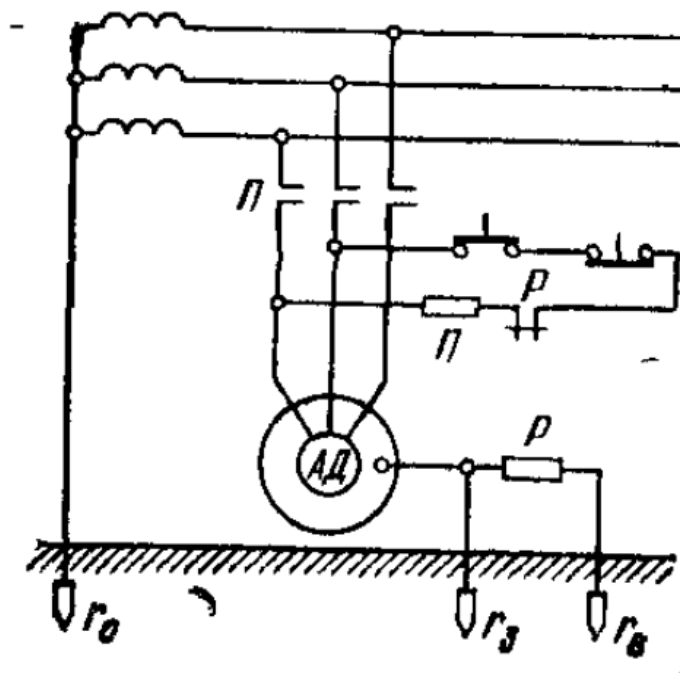


Рис. 1. Схема сопротивления изоляции проводов относительно земли

Степень опасности поражения человека электрическим током во многом зависит от среды, где он работает. В связи с этим все помещения по степени опасности делят на три класса: 1) без повышенной опасности; 2) с повышенной опасностью; 3) особо опасные. *Помещения без повышенной опасности* — это сухие помещения с изолирующими полами например, деревянными. *Помещения с повышенной опасностью* характеризуются наличием одного из условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, высокая температура (выше $+30^{\circ}\text{C}$), токопроводящий пол и т. д. *Особо опасные помещения* — это помещения, в которых особая опасность создается тем, что потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой или это помещения с химически активной

средой, разрушающей изоляцию и токоведущие части электрооборудования. К особо опасным относятся также помещения, в которых одновременно имеются два и более условий повышенной опасности. Все помещения прокатного производства относятся либо к помещениям повышенной опасности, либо к помещениям, особо опасным.

При постоянном токе, а также при малых напряжениях прикосновения (до 42 В) переменного тока частотой 50 Гц полное сопротивление тела человека может быть вычислено по формуле:

$$Z_t = 2R_k + R_m \quad \text{и составляет } 6 \dots 100 \text{ кОм.}$$

При напряжении прикосновения более 50 В происходит электрический пробой кожи, при этом полное сопротивление тела человека уменьшается и становится равным: $Z_t = R_t$.

При расчетах сопротивление тела человека принимается равным 1 кОм при напряжении прикосновения 50 В и более и 6 кОм при напряжении прикосновения до 42 В.

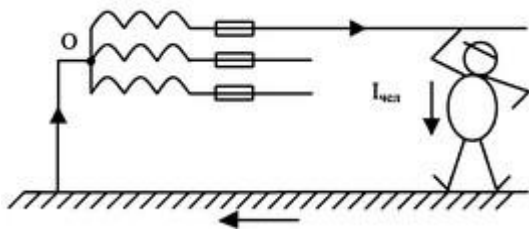
Предельно допустимые величины напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, нормируются в зависимости от режима работы электроустановки — нормального или аварийного, вида установок — бытовых или производственных, длительности воздействия тока. В аварийном режиме бытовых электроустановок при длительности воздействия более 1 с допустимые величины напряжения 12 В и тока 2 мА. В аварийных режимах производственных электроустановок допустимые величины напряжения прикосновения и тока, проходящего через человека:

- переменный ток 50 Гц, 36 В, 6 мА
- переменный ток 400 Гц, 36 В, 8 мА
- постоянный ток 40 В, 15 мА
- при длительности воздействия более 1 с.

Место соединения концов фаз источника питания (генератора или трансформатора) называется нейтралью (точка 0). Режимы нейтрали:

- 1.) заземленная нейтраль,
- 2) изолированная нейтраль,

3)компенсированная нейтраль.



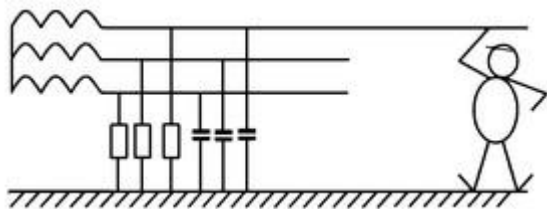
Заземленная нейтраль. Ток однофазного короткого замыкания в сети с заземленной нейтралью достаточно велик и сопровождается возникновением дуги, что делает невозможным использование таких сетей в угольных шахтах и помещениях, опасных в отношении взрыва и пожара. Поэтому сети с заземленной нейтралью могут использоваться в помещениях, не опасных в отношении взрыва и пожара. Защита от короткого замыкания осуществляется плавкими вставками или реле максимальной токовой защиты, что удешевляет эксплуатационные расходы. Напряжение поврежденной фазы при однофазном замыкании падает до 0, напряжения неповрежденных фаз меняются незначительно, поэтому нет повышенных требований к изоляции. На промышленных предприятиях используется наиболее распространенная система 220/380 В с заземленной нейтралью. В случае прикосновения к фазному проводу через тело человека будет протекать ток

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{чел}}} = \frac{220}{1000} = 0,22 A$$

что очень опасно. Прикосновение тела человека к фазному проводу в сети с заземленной нейтралью всегда опасно.

Изолированная нейтраль.

При однофазном замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью ток короткого замыкания определяется сопротивлением изоляции, которое, в свою очередь, определяется активным и емкостным сопротивлением. При хорошем состоянии изоляции и небольшой длине кабелей (емкость кабеля невелика) сопротивление изоляции достаточно велико, ток однофазного замыкания небольшой - возможно возникновение искрения при отсутствии дугового разряда, что делает возможным применение таких сетей во взрывоопасных и пожароопасных помещениях.



Прикосновение к фазному проводу в сети с изолированной нейтралью может быть безопасным при хорошем состоянии изоляции, так как ток через тело человека определяется сопротивлением изоляции.

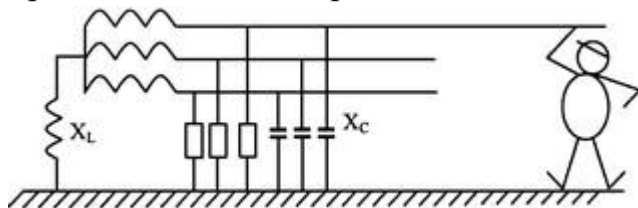
Ток с одной из фаз проходит через тело человека, через сопротивление изоляции на другие фазы. В сети 220/380 В при сопротивлении изоляции 60 кОм ток через человека:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{чел}} + Z_{\text{изол}}} = \frac{380}{1000 + \frac{60000}{3}} = 18 \text{ мА}$$

что безопасно. При большой длине кабельных линий суммарная емкость сети увеличивается, сопротивление изоляции снижается, прикосновение человека к фазному проводу может стать опасным. Кроме того, в случае пробоя изоляции одной из фаз и прикосновения к другой фазе на тело человека воздействует линейное напряжение и в токовой цепи отсутствует сопротивление изоляции, что гораздо опаснее. Поэтому необходим непрерывный контроль изоляции и немедленное отключение участка сети при пробое одной из фаз или опасном снижении сопротивления.

Компенсированная нейтраль.

Нейтральная точка соединяется с землей через индуктивное сопротивление X_L , примерно равное емкостному сопротивлению изоляции X_c , что приводит к образованию "электрической пробки", при которой емкостная проводимость сравнивается с проводимостью индуктивной.



Поскольку они соединены параллельно, суммарная проводимость становится равной примерно 0, а это соответствует бесконечно большому сопротивлению. Величина тока, протекающего через тело человека при прикосновении его к фазному проводу в сети с компенсированной нейтралью, существенно уменьшается.

Действие электрического тока на организм человека

Термическое воздействие заключается в нагреве тканей и биологических сред организма, что ведет к перегреву всего организма и, как следствие, нарушению обменных процессов и связанных с ним отклонений.

Электролитическое воздействие заключается в разложении крови, плазмы и прочих физиологических растворов организма, после чего они уже не могут выполнять свои функции.

Биологическое воздействие связано с раздражением и возбуждением нервных волокон и других органов.

Различают два основных вида поражений электрическим током: электрические травмы и удары.

К **электротравмам** относятся:

- электрический ожог - результат теплового воздействия электрического тока в месте контакта;
- электрический знак - специфическое поражение кожи, выражающееся в затвердевании и омертвении верхнего слоя;
- металлизация кожи - внедрение в кожу мельчайших частичек металла;
- электроофтальпия - воспаление наружных оболочек глаз из-за воздействия ультрафиолетового излучения дуги;
- механические повреждения, вызванные непроизвольными сокращениями мышц под действием тока.

Электрическим ударом называется поражение организма электрическим током, при котором возбуждение живых тканей сопровождается судорожным сокращением мышц

В зависимости от возникающих последствий электроудары делят на четыре степени:

- I - судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- II - судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимися дыханием и работой сердца;
- III - потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (или того и другого);

- IV - состояние клинической смерти.

Тяжесть поражения электрическим током зависит от многих факторов:

- силы тока,
- электрического сопротивления тела человека,
- длительности протекания тока через тело,
- рода и частоты тока,
- индивидуальных свойств человека
- условий окружающей среды.

Основной фактор, обуславливающий ту или иную степень поражения человека - *сила тока*. Для характеристики его воздействия на человека установлены три критерия (табл. 1):

- пороговый осязаемый ток - наименьшее значение тока, вызывающего осязаемые раздражения;
- пороговый неотпускающий ток - значение тока, вызывающее судорожные сокращения мышц, не позволяющие пораженному освободиться от источника поражения;
- пороговый фибрилляционный ток - значение тока, вызывающее фибрилляцию сердца.

Фибрилляцией называются хаотические и разновременные сокращения волокон сердечной мышцы, полностью нарушающие ее работу.

Таблица 1 - Средние значения пороговых токов:

Ток	Значение тока		
	порогового осязаемого, мА	порогового неотпускающего, мА	порогового фибрилляционного, мА
Переменный частотой 50 Гц	0,5... 1,5	6... 10	50...100
Постоянный	5.0...20	50...80	300

На исход поражения сильно влияет сопротивление тела человека. Наибольшим сопротивлением (3...20 кОм) обладает верхний слой кожи (0,2

мм), состоящий из мертвых ороговевших клеток, тогда как сопротивление спинномозговой жидкости 0,5...0,6 Ом. Общее сопротивление тела за счет сопротивления верхнего слоя кожи достаточно велико, но как только этот слой повреждается - его значение резко снижается.

При расчетах, связанных с электробезопасностью, сопротивление тела человека принимают равным 1 кОм.

Длительность действия тока существенно влияет на исход поражения, так как с течением времени резко падает сопротивление кожи человека, более вероятным становится поражение сердца и возникают другие отрицательные последствия.

Наиболее опасно прохождение тока через сердце, легкие и головной мозг.

Степень поражения зависит также от рода и частоты тока. Наиболее опасен переменный ток частотой 20... 1000 Гц. Переменный ток опаснее постоянного при напряжениях до 300 В. При больших напряжениях - постоянный ток.

На рис. 4 показана эквивалентная схема сопротивления тела человека при его касании проводников так, что ток идет через тело. Сопротивление тела человека Z_t зависит от активного сопротивления кожи R_k , емкости наружных слоев кожи C_k и внутреннего сопротивления тела человека R_t .

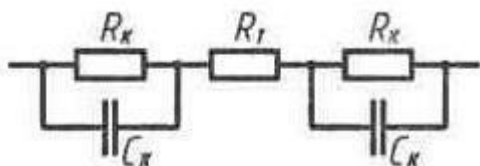


Рис. 4. Эквивалентная схема замещения сопротивления тела человека при напряжении прикосновения менее 50 В.

При постоянном токе, а также при малых напряжениях прикосновения (до 42 В) переменного тока частотой 50 Гц полное сопротивление тела человека может быть вычислено по формуле

$$Z_t = 2R_k + R_t$$

и составляет 6... 100 кОм.

При напряжении прикосновения более 50 В происходит электрический пробой кожи, при этом полное сопротивление тела человека уменьшается и становится равным $Z_t = R_t$.

При расчетах сопротивление тела человека принимается равным 1 кОм при напряжении прикосновения 50 В и более и 6 кОм при напряжении прикосновения до 42 В.

Контрольные вопросы:

1. Типы помещений по степени электробезопасности.
2. Пути прохождения электрического тока через человека при разных способах прикосновения.
3. Назовите критерии воздействия электрического тока на человека.
4. Виды поражения электрическим током.
5. Величина сопротивления человека, принимаемая к расчетам.
6. Факторы, влияющие на величину сопротивления человека.

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Ответы на контрольные вопросы.
4. Что происходит при следующих видах поражения электрическим током: электрический ожог, электрический знак, металлизация кожи?
5. Назвать способы прикосновений и показать степень опасности.

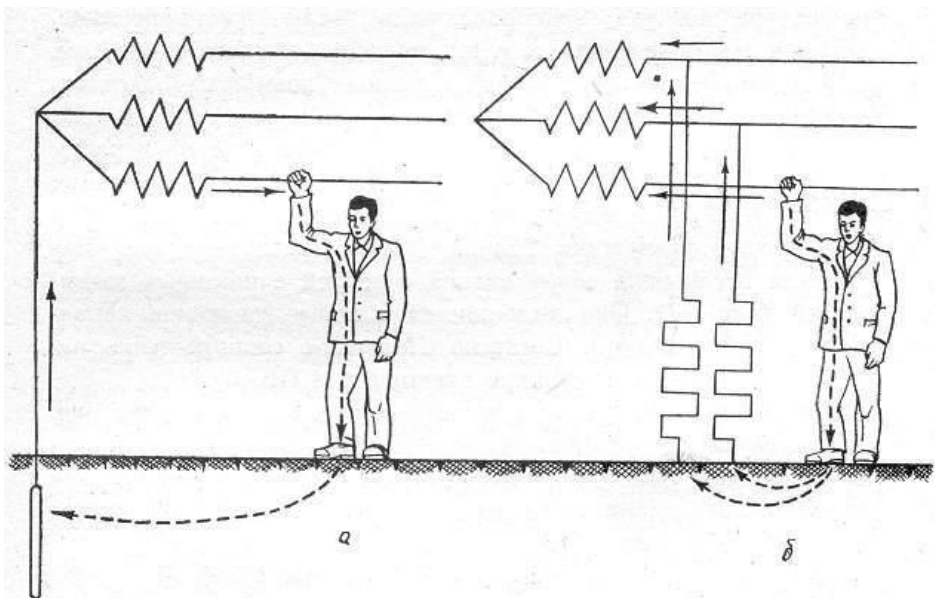


Рис. 1(а, б)

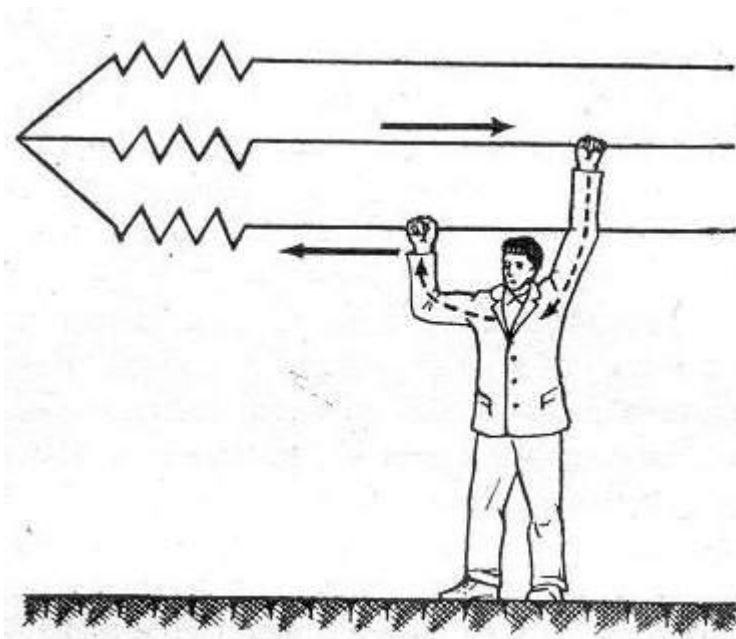


Рис. 2.

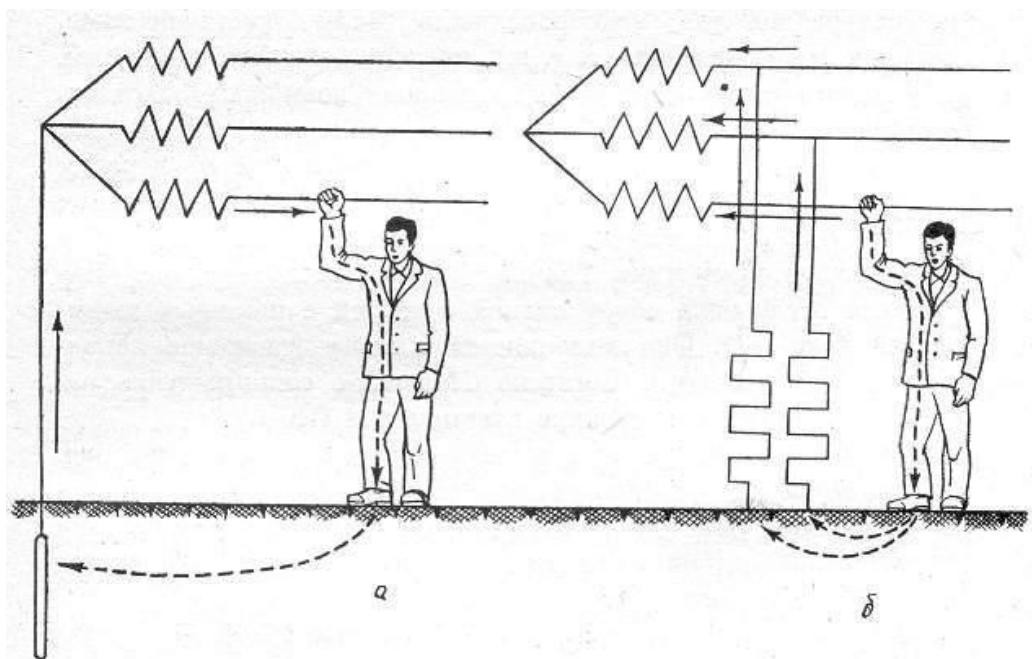


Рис. 3 (а, б)

Практическая работа

Тема: Сдача в эксплуатацию рубильников. Виды испытаний.

Цель работы: Изучить виды испытаний рубильников при сдаче в эксплуатацию после ремонта.

Методическая часть работы

Перед изучением видов испытаний рубильников рассмотрим возможные этапы ремонтов.

Ремонт контактных ножей. Контактные ножи подлежат замене, если их толщина менее 2 мм у рубильников до 250 А и менее 2,75 мм – у рубильников до 600 А. Ножи также заменяют, если выгорание контактной части превышает 10 % ширины ножа.

Копоть и нагар на контактных ножах удаляют обтирочным материалом, смоченным в бензине. Наплывы и брызги металла удаляют напильником с мелкой насечкой. После зачистки толщина ножа должна быть не менее значений, указанных выше.

Величину изгиба ножей определяют щупами, положив нож на измерительную плиту изгибом вверх и измерив зазор между ножом и плитой. Изогнутые ножи рубильников рихтуют молотком с медными бойками, после чего измеряют зазор между отрихтованным ножом и измерительной плитой. Нож можно устанавливать на рубильник, если величина изгиба не превышает 0,1 мм.

Ремонт неподвижных контактов. Наплывы и брызги металла на поверхности неподвижных контактов удаляют напильником с мелкой насечкой. Копоть и нагар удаляют обтирочным материалом, смоченным в бензине.

При срыве резьбы в отверстиях под винты крепления дугогасительной камеры отверстие с поврежденной резьбой рассверливают в зависимости от размера поврежденной резьбы сверлом диаметром 3,3; 4,2; 5,0; 6,7; 8,5 мм и нарезают в отверстиях резьбу соответственно М4, М5, М6, М8, М10.

Отверстия с сорванной резьбой под винты крепления неподвижных контактов и стоек к панели заваривают медью с помощью газовой горелки. Место заварки зачищают напильником, накернивают и сверлят новое отверстие, в котором метчиком нарезают резьбу номинального размера.

Ремонт изоляционной панели. Следы перекрытия электрической дугой на поверхности изоляционной панели между полюсами рубильника счищают шабером или шлифовальной шкуркой до полного удаления обугленного материала. Очищенный участок обдувают сжатым воздухом и обезжиривают уайт-спиритом. Затем на зачищенный участок наносят слой бакелитового лака и сушат в сушильном шкафу в течении 3-4 часов при температуре 333-343 К (60-70°C) в или при комнатной температуре в течении 24 часов.

При отсутствии бакелитового лака поврежденный участок изолируют клеем БФ-2. Для этого наносят слой клея и просушивают его при комнатной температуре в течении 1,5 часов, затем наносят второй слой клея и также просушивают в течении этого же времени. Панель устанавливают в сушильный шкаф и сушат при температуре 373 К (100°C) в течении 40-60 мин.

При обгорании, короблении или разрушении из текстолита или гетинакса изготавливают новую панель в соответствии с размерами панели, вышедшей из строя. Поверхность изготовленной панели покрывают бакелитовым лаком, обращая особое внимание на изолирование торцевых частей. После нанесения лака панель сушат в сушильном шкафу при температуре 333-343 К (60-70°C) в течении 3-4 часов или при комнатной температуре в течении 24 часов.

Проверка и испытания рубильников после ремонта.

Проверяют правильность вхождения подвижных ножей рубильников в губки неподвижных контактов. Ножи должны входить в губки одновременно и без перекосов. При наличии перекосов отпускают на 2-3 оборота винты или болты крепления неподвижных контактов и шарнирных стоек к панели рубильника, включают рубильник и затягивают винты или болты крепления неподвижных контактов и шарнирных стоек, после чего вновь проверяют правильность вхождения ножей в губки.

Поворачивая ножи вверх и вниз, но не включая рубильник, проверяют соединение ножей с шарнирными стойками. Ножи должны вращаться в стойках при приложении небольшого усилия.

Проверяют плотность контактов между подвижными ножами рубильника и губками неподвижных контактов. Щуп толщиной 0,05 мм не должен проходить более 1/3 длины контактной линии. При необходимости контактные соединения регулируют подгибанием губок контактных стоек.

Мегомметром на 500 В измеряют **сопротивление изоляции рубильника** между всеми соединенными между собой токоподводящими частями и деталями, подлежащими заземлению. Кроме того, измеряют сопротивление изоляции между неподвижными стойками и ножами каждой фазы в отключенном положении рубильника, а также между полюсами при включенном положении рубильника. Сопротивление изоляции должно быть не менее 50 МОм при температуре 293 К (20°C).

Техническое обслуживание.

Внешний осмотр и чистка корпуса от грязи и пыли, проверка отсутствия следов перегрева контактов, работы рычажного механизма, состояния изоляторов, одновременного и плотного включения ножей, контроль состояния заземления.

Текущий ремонт.

Выполняются все операции ТО и производится:

Очистка контактных поверхностей ножей, губок и огнестойких перегородок от грязи, копоти и частиц оплавленного металла, замена огнестойких перегородок;

Подтяжка всех крепежных деталей;

Проверка соединения пружин в губках, замена изношенных пружин;

Регулировка плотности и глубины вхождения ножей в губки;

Проверка состояния пружин искрогасительных контактов;

При ремонте рубильников выполняют следующее:

- тщательно очищают напильником контактные поверхности ножей 4 и контактных губок 3 от грязи, копоти и частиц оплавленного металла. При этом стараются снять минимальное количество металла, чтобы не уменьшить сечение контактных частей ножей и губок. При сильных оплавлениях ножей или губок их заменяют новыми соответствующих профилей и размеров;
- подтягивают все крепежные детали. При этом особое внимание обращают на шарнирные соединения, являющиеся частью цепи, по которой проходит электрический ток;

- проверяют состояние пружин ножей и пружинящих скоб контактных губок. Ослабленные пружины, не создающие в контактах требуемого давления, заменяют новыми;
- регулируют плотность вхождения ножей в губки. Ножи должны входить в губки без ударов и перекосов, но с некоторым усилием. Контактная поверхность губки должна плотно прилегать к соответствующей поверхности ножа. Щуп толщиной 0,05 мм не должен входить в пространство между губкой и ножом на глубину более 6 мм;
- регулируют глубину вхождения ножей в губки. У рубильника с рычажным приводом ножи при полностью включенном положении не должны доходить до контактной площадки губок на 2 — 4 мм. В то же время ножи всей своей контактной частью должны войти в губки. Глубину вхождения ножей в губки рубильников с рычажным приводом регулируют увеличением или сокращением длины тяги от рукоятки к Рубильнику. При регулировании добиваются одновременного входа и выхода всех трех ножей из губок. Разновременность выхода ножей из контактных губок не должна превышать 3 мм.
- проверяют прочность соединения рубильника с рычагом тяги. Резьбовые соединения закрепляют контргайками, а штифтовые — двумя конусными штифтами диаметром 4 — 6 мм;
- проверяют состояние пружин искрогасительных контактов; слабые пружины заменяют новыми.

Контрольные вопросы:

1. Операции, необходимые при сдаче рубильников в эксплуатацию.
2. Заполнить таблицу: Перечень износов и повреждений, устраняемых при текущем ремонте рубильников.

Детали и узлы	Износы и повреждения деталей и узлов	Способы ремонта деталей и узлов
Контактные ножи		
Губки неподвижных контактов		

Изоляционная панель		
---------------------	--	--

Пример для проверки заполнения таблицы

Детали и узлы	Износы и повреждения деталей и узлов	Способы ремонта деталей и узлов
Контактные ножи	Обгорание, наплывы или брызги металла на контактной поверхности ножей	Зачистка контактных поверхностей
	Изгиб ножей более 0,2 мм на всю длину ножа	Рихтовка
Губки неподвижных контактов	Наплывы, брызги металла или подгорание контактных поверхностей губок	Зачистка
	Срыв резьбы в отверстиях под винты крепления дугогасительных камер	Нарезание резьбы ремонтного размера
	Срыв резьбы в отверстиях под винты крепления контактов к панели	Заварка, нарезание новой резьбы
Изоляционная панель	Обгорание, коробление панели	Замена панели
	Следы подгорания панели	Зачистка, покрытие лаком

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа

Тема: Сдача в эксплуатацию предохранителей. Виды испытаний.

Цель работы: Изучить виды испытания предохранителей.

Методическая часть работы

Объем приемо-сдаточных испытаний предохранителей.

В соответствии с требованиями ПУЭ предохранители выше 1кВ испытываются в следующем объеме:

1. Испытание опорной изоляции предохранителей повышенным напряжением промышленной частоты.
2. Проверка целостности плавких вставок и токоограничивающих резисторов и соответствия их проектным данным.

1. Испытания опорной изоляции предохранителей повышенным напряжением промышленной частоты.

Устанавливаются следующие нормы испытательного напряжения в зависимости от класса номинального напряжения электроустановки:

Номинальное напряжение предохранителей, кВ	3	6	10	15	20	35
--	---	---	----	----	----	----

Испытательное напряжение, кВ	24	32	42	55	65	95
---------------------------------	----	----	----	----	----	----

Продолжительность приложения нормированного испытательного напряжения 1 мин. Испытание опорной фарфоровой изоляции предохранителей повышенным напряжением промышленной частоты может производиться совместно с испытанием изоляторов ошиновки ячеек КРУ и ошиновки ОРУ. Методика испытания изложена в испытание изоляции электрооборудования повышенным напряжением.

2. Проверка целости плавких вставок и токоограничивающих резисторов и соответствия их простым данным.

Плавкие вставки и токоограничивающие резисторы должны быть комбинированными и соответствовать проектным данным. У предохранителей с кварцевым песком дополнительно проверяется целост плавкой и исправность указателя срабатывания. Целость плавкой вставки проверяется с помощью мегаомметра или контрольной лампы. Исправность указателя срабатывания проверяют, нажимая и отпуская его. При отпуске он должен, слегка спружинив, возвратиться на место, но не выскочить из патрона предохранителя.

Испытание предохранителей напряжением выше 1 кВ

В закрытых распределительных устройствах напряжением 6-10 кВ для защиты электроустановок от токов короткого замыкания применяются силовые предохранители с заполнением кварцевым песком серий ПК (предохранитель кварцевый), ПКУ (кварцевый усиленный), а также серий ПКТ и ПКТУ (для защиты трансформаторов напряжения). В обозначении марки предохранителя помимо буквенной части вводится цифровая, указывающая номинальное напряжение, номинальный ток патрона и ток плавкой вставки. Например, обозначение марки ПК-10/100/60 расшифровывается следующим образом: предохранитель с заполнением кварцевым песком, номинальное напряжение 10 кВ, номинальный ток патрона 100 А, ток плавкой вставки 60 А.

Предохранители высокого напряжения состоят из патрона с плавкой вставкой, изоляторов с контактными стойками и цоколя. Патроны предохранителя заполнены кварцевым песком, в котором помещено несколько спиральных плавких вставок. Срабатывание предохранителей определяется по указателю, который выбрасывается пружиной при перегорании плавкой вставки. Патроны предохранителей вставляют в неподвижные контактные стойки так, чтобы указатели срабатывания были обращены вниз. Перед установкой предохранители осматривают и проверяют их соответствие номинальному току и напряжению электроустановки, сохранность изоляторов и фарфоровых патронов, исправность указателя срабатывания. На открытых распределительных устройствах комплектных трансформаторных подстанциях 35/6-10кВ применяются стреляющие предохранители т. ПСН. Они устанавливаются на портале ОРУ и служат для защиты оборудования от токов короткого замыкания.

Нормы испытаний предохранителей напряжением выше 1 кВ.

Проверки и испытания предохранителей производятся при капитальном ремонте и в межремонтный период при профилактических испытаниях.

Для предохранителей напряжением выше 1 кВ К, М проводятся в сроки, устанавливаемые системой ППР, но К – не реже 1 раза в 8 лет.

Объем проверок и испытаний, предусмотренных ПЭЭП, включает следующие работы:

1. Испытание опорной изоляции предохранителей повышенным напряжением промышленной частоты.
2. Определение целости плавких вставок и токоограничивающих сопротивлений и соответствия их проектным данным.
3. Испытание опорной изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.

Определение целости плавких вставок и токоограничивающих сопротивлений и соответствия их проектным данным.

Проводится в межремонтный период.

Плавкие вставки и токоограничивающие сопротивления должны быть калиброванными.

Испытание плавких вставок однородной серии:

Плавкие вставки на различные номинальные токи считают образующими однородную серию, если:

- их оболочки идентичны по форме, конструкции и, за исключением плавких элементов, размерам. Это условие соблюдается также, когда различны только контакты плавких вставок; в этом случае для испытаний выбирают плавкую вставку с контактами, для которых результаты испытаний должны, по-видимому, оказаться наихудшими;

- в них имеется одинаковая дугогасительная среда с одинаковой полнотой заполнения;

- их плавкие элементы выполнены из идентичных материалов, одинаковы по длине и форме.

- их поперечное сечение, которое может изменяться по длине плавких элементов, и число плавких элементов не превышают поперечного сечения и числа плавких элементов для плавких вставок на наибольший номинальный ток;

- минимальные расстояния между соседними плавкими элементами и между плавкими элементами и внутренней поверхностью держателя не менее, чем в плавкой вставке на наибольший номинальный ток;

- они пригодны для использования с данным держателем плавкого предохранителя или предназначены для эксплуатации без держателя, но в конструкции, одинаковой для всех плавких вставок однородной серии на все номинальные токи;

- при испытании на температуру перегрева произведение $RIn^{3/2}$ не более соответствующего значения для плавкой вставки однородной серии на наибольший номинальный ток. Сопротивление плавкой вставки R следует измерять при испытании на отключающую способность номинальная отключающая способность не более, чем у плавкой вставки однородной серии на наибольший номинальный ток. В противном случае плавкая вставка на наибольший номинальный ток среди имеющих более высокую номинальную отключающую способность должна быть подвергнута испытаниям № 1 и № 2.

Проверка изоляционных свойств

Установка держателя плавкого предохранителя. Держатель должен быть оснащен плавкими вставками наибольших размеров, предусматриваемых для держателей данного типа. Если изоляция обеспечивается основанием плавкого предохранителя, металлические части следует поместить в точки крепления согласно условиям монтажа плавких предохранителей, указанным изготовителем, и рассматривать их как входящие в состав корпуса аппарата. Если отсутствуют иные указания изготовителя, основание следует прикреплять к металлической плите. Если предусматривается возможность замены плавкой вставки под напряжением, поверхности этой вставки, устройства для ее замены или ее держателя (при его наличии), которых можно коснуться в ходе правильной замены, рассматривают как составную часть плавкого предохранителя. Следовательно, эти поверхности, если они выполнены из изолирующего материала, должны быть снабжены металлическими накладками, на время испытаний присоединяемыми к корпусу аппарата, а если из металла, — то непосредственно присоединяться к этому корпусу. Если изготовитель предусматривает дополнительную изоляцию, например перегородки, их следует установить на время испытаний.

Точки приложения испытательного напряжения.

Испытательное напряжение следует прикладывать:

- а) между частями, находящимися под напряжением, и корпусом, с установкой на место плавкой вставки и устройства для ее замены или держателя (при его наличии);
- б) между выводами после удаления плавкой вставки и устройства для ее замены или держателя (при его наличии);
- в) между находящимися под напряжением частями различной полярности в многополюсном держателе плавкого предохранителя, с установкой на место плавких вставок наибольших размеров, предназначенных для этого держателя, и одного или нескольких устройств для замены плавких вставок или одного (нескольких) держателя(ей) плавких вставок (при их наличии);
- г) между находящимися под напряжением частями, потенциалы которых после срабатывания плавкой вставки в многополюсном держателе плавкого предохранителя могут быть различны, с установкой на место только одного (нескольких) держателя(ей) плавкой вставки или одного (нескольких) устройств для замены плавких вставок (без самих вставок).

Держатель плавкого предохранителя следует выдержать во влажных атмосферных условиях. Для этого следует использовать камеру с относительной влажностью воздуха от 91 % до 95 %. Температура воздуха в

месте установки образца должна поддерживаться с точностью до 2 К при любом удобном значении T от 20°C до 30°C. Перед тем как поместить образец в камеру влажности, следует довести его до температуры T с отклонением не более чем на 2 К. Образец следует выдерживать в камере 48 ч. Непосредственно после такой подготовки и устранения образовавшегося конденсата следует измерить сопротивление изоляции, подавая между точками, указанными в 8.2.2, постоянное напряжение около 500 В.

Требуемые результаты испытания. За все время подачи испытательного напряжения не должно возникать пробоев изоляции или перекрытий. Тлеющими разрядами без падения напряжения можно пренебречь. Сопротивление изоляции, измеренное по 8.2.4.2, должно быть не менее 5 МОм.

Проверка температуры перегрева и потерь мощности

Установка плавкого предохранителя. В отсутствие иных указаний изготовителя для этого испытания следует использовать один плавкий предохранитель. Предохранитель следует установить на открытом воздухе, чтобы гарантировать, что результаты испытания не подвержены влиянию конкретных условий монтажа. Испытание следует проводить при температуре окружающего воздуха 20(±5)°C. Длина соединений с каждой стороны предохранителя должна составлять не менее 1 м. Если необходимо или желательно комбинированное испытание более одного предохранителя, их следует соединять последовательно. Между выводами двух последовательно соединенных предохранителей общая длина соединения должна составлять около 2 м. Кабели должны быть по возможности прямолинейными. Их поперечное сечение следует выбирать по таблице 10. При номинальных токах до 400 А в качестве соединений следует использовать одножильный кабель с медным проводником и поливинилхлоридной изоляцией черного цвета. При номинальных токах от 500 до 800 А можно применять либо одножильные медные проводники с поливинилхлоридной изоляцией черного цвета, либо медные шины без покрытия. При еще более высоких номинальных токах используют только медные шины, окрашенные в матовый черный цвет.

Измерение температуры перегрева. Значения температуры перегрева, указанные в таблице 4 для контактов и выводов плавкого предохранителя, следует определять измерительными приборами, которые представляются наиболее пригодными для этого, при условии, что приборы не в состоянии заметно повлиять на температуру данной части предохранителя. Используемый метод следует оговорить в протоколе испытания.

Измерение потерь мощности в плавкой вставке
Плавкая вставка должна быть установлена в держателе плавкого предохранителя или испытательном основании, как указано в последующих частях.

Таблица: Поперечное сечение медных проводников для испытаний

Номинальный ток, А	Поперечное сечение, мм ²	Номинальный ток, А	Поперечное сечение, мм ²
2, 4, 6	1,0	160	70,0
8, 10, 12	1,5	200	95,0
16, 20	2,5	250	120,0
25	4,0	315	185,0
32	6,0	400	240,0
40, 50	10,0	500	2 ' 150 или 2 ' (30 ' 5)1)
63	16,0	630	2 ' 185 или 2 ' (40 ' 5)1)
80	25,0	800	2 ' 240 или 2 ' (50 ' 5)1)
100	35,0	1000	2 ' (60 ' 5)
125	50,0	1250	2 ' (80 ' 5)

Проверка срабатывания

Установка плавкого предохранителя. Испытательная схема должна соответствовать указанной. Длина и поперечное сечение подключаемых проводников должны выбираться согласно номинальному току основания или держателя.

Проверка условного тока не плавления и плавления плавкой вставки:
а) Во вставку подают ее условный ток не плавления I_{nf} в течение условного времени, указанного в таблице 2. За это время она не должна срабатывать.
б) После охлаждения вставки до температуры окружающей среды в нее подают условный ток плавления I_f . Она должна сработать в условное время, указанное в таблице. Проверка номинального тока плавких вставок типа g
Эти испытания можно проводить при пониженном напряжении. Одну из плавких вставок подвергают в течение 100 ч циклическому испытанию, каждый цикл которого состоит из периода включения тока, равного условному времени, и периода отключения тока, равного 0,1 условного времени, испытательным током, составляющим 1,05

номинального тока вставки. После испытания характеристики вставки не должны измениться.

Определяют периоды:

- 1) от момента замыкания цепи до момента, когда измерение напряжения свидетельствует об образовании дуги;
- 2) от момента замыкания цепи до момента ее окончательного разрыва.

На три плавкие вставки подают 50 импульсов одинаковой продолжительности и с одним значением испытательного тока. Для вставки типа *g* испытательный ток должен быть равен 0,8 тока, определенного по полученным от изготовителя времятоковым характеристикам для минимального преддугового времени 5 с. Длительность каждого импульса должна составлять 5 с, а интервал времени между импульсами — 20 % условного времени. Для вставки типа *a* испытательный ток должен быть равен $k_1 I_n \pm 2\%$. Продолжительность импульса должна соответствовать указанной на кривой перегрузки для $k_1 I_n$ по данным изготовителя. Интервалы времени между концом одного импульса и началом другого должны в 30 раз превышать длительность импульса.

После охлаждения до температуры окружающего воздуха в эти вставки должен быть подан ток такого же значения, как при испытании на перегрузку. Преддуговое время при прохождении этого тока должно находиться во времятоковой зоне, указанной изготовителем.

Таблица: Испытания
Ток в амперах

Номинальный ток плавкой вставки I_n	Номинальное поперечное сечение медных проводников, мм ²	Допустимый ток I_{z1}	Номинальный ток плавкой вставки I_n	Номинальное поперечное сечение медных проводников, мм ²	Допустимый ток I_{z1}
12	1,0	15,0	100	25,0	112,0
16	1,5	19,5	125	35,0	138,0
20 и 25	2,5	26,0	160	50,0	168,0
32	4,0	35,0	200	70,0	213,0
40	6,0	46,0	250	120,0	299,0
50 и 63	10,0	63,0	315	185,0	392,0

80	16,0	85,0	400	240,0	461,0

Испытания № 1 и № 2

Для каждого из этих испытаний последовательно используют три образца. На переменном токе, если во время испытания № 1 один или несколько раз удовлетворяются требования испытания № 2, то соответствующие операции можно не повторять в ходе испытания № 2. На постоянном токе, если во время испытания № 1 образование дуги начинается при токе не менее 0,5 I₁, то нет необходимости в испытании № 2. Если при испытаниях на переменном токе ожидаемый ток, необходимый в соответствии с требованиями к испытанию № 2, более номинальной отключающей способности, то испытания № 1 и № 2 следует заменить испытанием при токе I₁ шести образцов с шестью углами включения, различающимися в каждом из двух последовательных испытаниях приблизительно на 30°. Для проверки пикового выдерживаемого тока держателя плавкого предохранителя следует подвергнуть испытанию № 1 весь комплект, состоящий из основания и плавкой вставки (см. 8.1.6), с держателем при его наличии. В ходе этих испытаний образование дуги должно начинаться при угле от 65° до 90° после прохождения напряжения через нуль.

Испытания № 3 — № 5

В каждом из этих испытаний при работе на переменном токе цепь может замыкаться в любой момент относительно прохождения тока через нуль. Если в испытательной схеме невозможно все время поддерживать полное напряжение, то плавкий предохранитель можно предварительно нагреть при пониженном напряжении, подавая ток, приблизительно равный испытательному. В этом случае переключение на испытательную цепь по 8.5.5.2 В одном из трех испытаний № 2 и испытании № 4 напряжение следует поддерживать на уровне (100+10) % для номинального напряжения 690 В, (100+15) % номинального напряжения — для всех других плавких предохранителей переменного тока и (100+20) % номинального напряжения для постоянного тока, по крайней мере, в течение: 30 с после срабатывания плавких вставок, в корпусе и наполнителе которых не содержатся органические вещества; 5 мин после срабатывания плавких вставок во всех прочих случаях, причем через 15 с допускается переключение на другой источник питания, если время переключения (отсутствие напряжения) не более 0,1 с. При всех прочих испытаниях восстанавливающееся напряжение следует поддерживать на том же уровне в течение 15 с после срабатывания плавкого

предохранителя.

За период менее 6 мин и более 10 мин после срабатывания (с согласия изготовителя возможно сокращение этого периода, если в корпусе и наполнителе плавкой вставки отсутствуют органические вещества) следует измерить сопротивление между контактами плавкой вставки (см. 8.5.8) и зарегистрировать.

Проверка характеристики пропускаемого тока.

Если изготовителем указана характеристика пропускаемого тока, ее следует проверить на ожидаемом токе в связи с испытанием № 1 и по осциллограммам рассчитать соответствующее значение. Требуемые результаты испытаний. Измеренные значения не должны превышать указанных изготовителем.

8.10 Проверка целостности контактов.

С помощью испытания, имитирующего тяжелые условия эксплуатации, следует проверить целостность контактов, не эксплуатируемых длительное время. Установка плавкого предохранителя. Этому испытанию следует подвергнуть три образца. Следует включать их в испытательную схему таким образом, чтобы исключить взаимное влияние. Образцы оснащают стандартными макетными плавкими вставками с максимальными номинальными токами из предусмотренных для данного держателя (см. последующие части).

Метод испытания. Испытательный цикл включает в себя период нагрузки и период без нагрузки, отнесенные к условному времени. Испытательные токи для обоих периодов указаны в последующих частях. Сначала выполняют испытание из 250 циклов. Если результаты удовлетворительны, то испытание прекращают. Если же результаты испытаний выходят за установленные пределы, испытание продолжают до 750 циклов. До начала испытаний следует, как установлено в последующих частях, по достижении установившегося режима измерить при номинальном токе температуру перегрева и/или падение напряжения на контактах. Это испытание следует повторить после 250 циклов и, если необходимо, после 750 циклов. Если плавкие предохранители так малы, что надежные замеры на контактах невозможны, то в качестве критериев можно использовать результаты замеров на выводах.

Механические и прочие испытания.

Механическая прочность. В отсутствие других указаний в последующих частях механические свойства плавкого предохранителя и его частей оценивают по соблюдению нормальных условий обслуживания и монтажа, а также по результатам, полученным при испытаниях на отключающую способность.

Контрольные вопросы:

1. Перечислить виды испытаний предохранителей.
2. Назвать нормы испытательного напряжения в зависимости от класса номинального напряжения электроустановки.
3. Заполнить таблицу:

К, М - производятся в сроки, устанавливаемые системой ППР.

Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания
	К		
	К		
	К		
	К		
	К		
	К		
	М		

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Ответы на контрольные вопросы.

Заполненная таблица для проверки обучающихся:

К, М - производятся в сроки, устанавливаемые системой ППР.

Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания
Испытание опорной изоляции предохранителей повышенным напряжением промышленной	К	Испытательное напряжение должно соответствовать данным таблицы	Допускается производить совместно с испытанием изоляторов ошиновки ячеек

частоты			
Проверка целостности плавкой вставки	К	Целостность плавкой вставки проверяется омметром; наличие маркировки со значением номинального тока плавкой вставки - визуально	Значение номинального тока плавкой вставки должно соответствовать проектным данным
Измерение сопротивления постоянному току токоведущей части патрона выхлопного предохранителя	К	Измеренное значение сопротивления должно соответствовать значению номинального тока по маркировке на патроне	Проводится при наличии соответствующих данных в инструкции завода-изготовителя
Измерение контактного нажатия в разъемных контактах предохранителя	К	Измеренное значение должно соответствовать заводским данным	
Проверка состояния дугогасительной части патрона выхлопного предохранителя	К	Измеряется внутренний диаметр дугогасительной части патрона предохранителя. Измеренное значение диаметра должно соответствовать заводским данным	
Проверка предохранителя-разъединителя	К	Выполняется 5 циклов операций включения и отключения предохранителя-разъединителя. Каждая операция должна быть успешной с первой попытки	
Тепловизионный контроль	М	Производится в соответствии с установленными нормами и инструкциями заводов-изготовителей	

Практическая работа

Тема: Сдача в эксплуатацию автоматических выключателей.

Виды испытаний.

Цель работы: Изучить виды испытания автоматических выключателей.

Методическая часть работы

Это необходимая процедура при сдаче в эксплуатацию практически любого объекта. Автоматические выключатели отвечают за отключение электроэнергии в случае нештатной ситуации. При проверке работоспособности автоматических выключателей мы тестируем:

- обеспечение защиты от поражения током при коротком замыкании
- обеспечение защиты от перегрузок, вызванных повреждением изоляции
- соответствие технических параметров выключателей проектным данным и информации завода-изготовителя

Периодичность проверки автоматических выключателей:

Периодичность проверки автоматических выключателей определяется нормами заводов-изготовителей. Проверка и наладка автоматических выключателей выполняется во время приемо-сдаточных испытаний, которые проводятся непосредственно перед сдачей объекта в эксплуатацию. Во время испытаний замеряют сопротивление изоляции выключателей и проводят проверку расцепителей.

Этот процесс является трудоемким т.к. для его осуществления автоматы подлежат полному или частичному демонтажу с электроустановок. Затем происходит его подключение к прибору, испытание автомата и затем его нужно смонтировать назад. Такой процесс является длительным и требует привлечение двух работников.

Контроль точности измерений гарантируется благодаря ежегодной проверке приборов, используемых для испытаний автоматических выключателей, в органах Ростехнадзора. Приборы не прошедшие проверку к испытаниям не допускаются. По окончании испытаний электролабораторией выдается протокол прогрузки автоматических выключателей в котором указываются результаты всех измерений.

ОБЪЕМ ИСПЫТАНИЙ

Проверка автоматических выключателей при вводе в эксплуатацию производится в следующем объеме.

1. Проверка соответствия технических характеристик выключателя проекту и требуемому режиму работы электроустановки.

Проверить, что заводские данные выключателя соответствуют, указанным в проекте.

Проверить, что возможный наибольший длительный рабочий ток нагрузки не превышает:

- номинального тока тепловых расцепителей выключателей с тепловыми расцепителями;
- номинального тока выключателя для выключателей только с электромагнитными расцепителями;
- наибольшего значения номинального рабочего тока полупроводникового расцепителя выключателей с полупроводниковыми расцепителями;

При отсутствии проектных данных выполнить расчет рабочих уставок защиты, проверить чувствительность и селективность защиты, а также отстройку защиты от возможных технологических перегрузок (пусковых токов, пиков технологической нагрузки, токов самозапуска двигателей, и т.п.).

2. Проверка качества монтажа, технического состояния выключателя, проверка работоспособности узлов механизма управления выключателя.

3. Измерение сопротивления изоляции выключателя. Сопротивление изоляции аппаратов до 1000В должно быть не менее 0,5 МОм. Измерение производится мегаомметром на 1000 В. (элементы с пониженным уровнем изоляции исключаются из схемы).

4. Проверка параметров срабатывания автоматических выключателей производится в следующем объеме:

4.1. Автоматические выключатели серий АП-50, АК-63, АЕ2000, А 3100, ВА, АЗ700.

- Проверка работоспособности тепловых расцепителей путем прогрузки током от постороннего источника питания (отключение выключателем тока определенной кратности и измерение времени отключения). Для регулируемого расцепителя проверка выполняется на рабочей уставке.
- Проверка работоспособности электромагнитных расцепителей.

- Проверка работоспособности независимого расцепителя и расцепителя минимального напряжения при использовании расцепителей в схемах РЗА.

4.2. Автоматические выключатели серий АВМ, ВА

- Проверка отсутствия затираний якорей максимальных расцепителей защиты от перегрузки, короткого замыкания и механического замедлителя расцепления для селективных выключателей нажатием якоря расцепителя.
- Калибровка рабочих уставок тока и времени срабатывания защиты с обратной зависимостью от тока характеристикой (защиты от перегрузки), тока времени срабатывания отсечки для селективных выключателей.
- Проверка работоспособности независимого расцепителя и расцепителя минимального напряжения при использовании расцепителей в схемах РЗА.

Защита от перегрузки осуществляется тепловыми или электронными устройствами. Защита от токов короткого замыкания осуществляется электромагнитными или электронными расцепителями. Измеряемой величиной является время отключения автоматического выключателя при заданной величине тока, превышающей номинальное значение тока автоматического выключателя. Времятоковая характеристика (характеристика расцепления) автоматического выключателя проверяется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50345-99 согласно таблице 1.

Таблица 1. Стандартные времятоковые характеристики автоматических выключателей.

Испытание	Тип мгновенного расцепителя автоматического выключателя	Испытательный ток	Начальное состояние	Пределы времени расцепления или нерасцепления	Требуемый результат
a	B, C, D	$1,13 I_n$	Холодное (без предварительного пропускания тока)	$t \geq 1$ ч (при $I_n \leq 63$ А) $t \geq 2$ ч (при $I_n < 63$ А)	Без расцепления
b	B, C, D	$1,45 I_n$	Сразу за п. а	$t < 1$ ч (при $I_n \leq$	Расцепление

				63 A) t 63 A)	e
c	B, C, D	2,55 In	Холодное	1 с < t < 60 с (при In ≤ 32 A) 1 с < t < 120 с (при In ≥ 32 A)	Расцеплени е
d	B	3,00 In	Холодное	t ≥ 0,1 с	Расцеплени е
	C	5,00 In			
	D	10,00 In			
e	B	5 In	Холодное	t < 0,1 с	Расцеплени е
	C	10 In			
	D	50 In			

При проведении испытаний соблюдают следующие условия:

- автоматический выключатель устанавливают вертикально;
- испытуемый автоматический выключатель отключается от сети;
- испытания автоматического выключателя проводят при частоте сети (50±5)

Гц;

Выполнение испытаний срабатывания расцепителей автоматических выключателей.

Собрать схему проверок срабатывания расцепителей автоматического выключателя согласно с инструкцией изготовителя используемого нагрузочного устройства. Электромагнитный расцепитель срабатывает без выдержки времени. Комбинированный расцепитель должен сработать с обратной зависимостью от тока выдержкой времени при перегрузке и без выдержки времени при коротких замыканиях. Ток уставки расцепителей не регулируют.

В каждом полюсе автомата смонтирован свой тепловой элемент, действующий на общий расцепитель автомата. Чтобы убедиться в правильности действия всех тепловых элементов, необходимо проверить каждый из них в отдельности.

При одновременной проверке большого количества автоматов испытание тепловых элементов по начальному току срабатывания нецелесообразно, т.к. на проверку каждого автомата затрачивается несколько часов. В связи с этим тепловые элементы рекомендуется проверять испытательным током, равным двух- и трехкратному номинальному току расцепителя при одновременной нагрузке испытательным током всех полюсов автоматов. Если тепловой элемент не срабатывает, то автомат к эксплуатации не пригоден и дальнейшим испытаниям не подлежит.

У всех тепловых элементов должны быть проверены тепловые характеристики при одновременной нагрузке испытательным током всех полюсов автомата. Для этого все полюса автомата соединяют последовательно. При проверке электромагнитных расцепителей, не имеющих тепловых элементов, автомат включают вручную и устанавливают такую величину испытательного тока, при которой автомат отключится. После отключения автомата ток снижают до нуля и в указанном порядке проверяют электромагнитные элементы в остальных полюсах автомата.

Время срабатывания автомата определяется по шкале секундомера испытательного оборудования. Времятоковые характеристики срабатывания расцепителей автоматического выключателя должны соответствовать калибровкам и паспортным данным завода-изготовителя. Проверка срабатывания электромагнитных и тепловых расцепителей автоматических выключателей в объеме 30%, из них 15% наиболее удаленных от ВРУ квартир. При несрабатывании 10% проверяемых автоматических выключателей, производится проверка срабатывания всех 100% автоматических выключателей.

Контроль точности результатов измерений при испытаниях

автоматических выключателей

Контроль точности результатов измерений обеспечивается ежегодной поверкой приборов, применяемых для испытания автоматических выключателей, в органах Госстандарта РФ. Приборы должны иметь действующие свидетельства о госповерке. Выполнение измерений прибором с просроченным сроком поверки не допускается.

Оформление результатов испытаний автоматических выключателей

Результаты испытаний оформляются протоколом «Проверки автоматических выключателей напряжением до 1000В».

Проверка действия расцепителей.

Электромагнитный расцепитель должен сработать при токе не более 1,1 верхнего значения тока срабатывания выключателя, указанного заводом изготовителем (ПУЭ изд.7, п.1.8.37 глава 3.2). Стандартные диапазоны токов мгновенного (электромагнитного) расцепителя принимаются:

- $3I_n-5I_n$ – для типа "B" авт. выключателя;
- $5I_n-10I_n$ – для типа "C" авт. выключателя;
- $10I_n-20I_n$ – для типа "D" авт. выключателя;

Пределы работы теплового и электромагнитного расцепителей должны соответствовать заводским данным (ПТЭЭП, приложение 3, п.28.3).

Испытание автоматических выключателей

производится в соответствии с указаниями заводов изготовителей.



Прогрузка автоматических выключателей.

Проверка характеристик автоматических выключателей выполняется при непосредственно подключенных к сети выключателях, путём создания искусственного замыкания за местом установки проверяемого автоматического выключателя с плавным регулированием значения тока тиристорами с изменением его значения и времени отключения. Также этот метод испытания называется прогрузка автоматических выключателей.

- **Испытание автоматических выключателей с тепловым расцепителем** выполняется для определения времени срабатывания выключателя в пределах зоны срабатывания теплового расцепителя по время-токовой характеристике. Для этого на испытательном устройстве задаем нагрузочный ток равный $3I_n$ и время – максимальное, согласно время-токовой характеристике. Как правило, время срабатывания находится в пределах 5-30 секунд.

- **Испытание автоматических выключателей с электромагнитным расцепителем** выполняется для определения времени срабатывания выключателя в пределах зоны срабатывания электромагнитного расцепителя по время-токовой характеристике автоматического выключателя. Для этого на испытательном устройстве задаем нагрузочный ток равный максимальному в диапазоне токов данного типа выключателя и время, согласно заводским данным.

Измеряемой величиной является время отключения автоматического выключателя при заданной величине тока и величина тока. Результаты проверок оформляются протоколом "Испытание автоматических выключателей". Выполнение испытаний проводится при температуре окружающего воздуха от -10°C до $+45^{\circ}\text{C}$ и влажности воздуха до 98% при температуре $+25^{\circ}\text{C}$.



Таблица - Площади поперечного сечения (S) испытательных медных проводников в зависимости от номинальных токов

S , мм ²	Значения номинального тока I_n , А	S , мм ²	Значения номинального тока I_n , А
1	$I_n \leq 6$	10	$32 < I_n \leq 50$
1,5	$6 < I_n \leq 13$	16	$50 < I_n \leq 63$
2,5	$13 < I_n \leq 20$	25	$63 < I_n \leq 80$
4	$20 < I_n \leq 25$	35	$80 < I_n \leq 100$
6	$25 < I_n \leq 32$	50	$100 < I_n \leq 125$

Примечание - Для медных проводников в системе AWG см. приложение G.

Испытание на коррозиестойчивость

Подлежащие испытанию части полностью обезжиривают путем погружения в холодный химреагент типа метилхлороформа или очищенного бензина на 10 мин. Затем эти части погружают на 10 мин в 10%-ный раствор хлористого аммония в воде температурой $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Без сушки, но стряхнув капли, эти части помещают еще на 10 мин в камеру с воздухом, насыщенным влагой, при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. После 10 мин сушки этих частей в камере тепла при температуре $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ на поверхностях частей не должно быть следов коррозии.

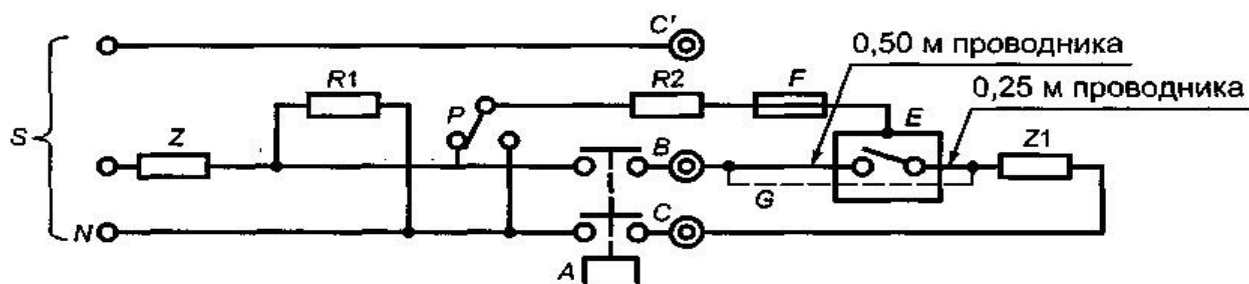


Рисунок 1 - Однополюсный автоматический выключатель

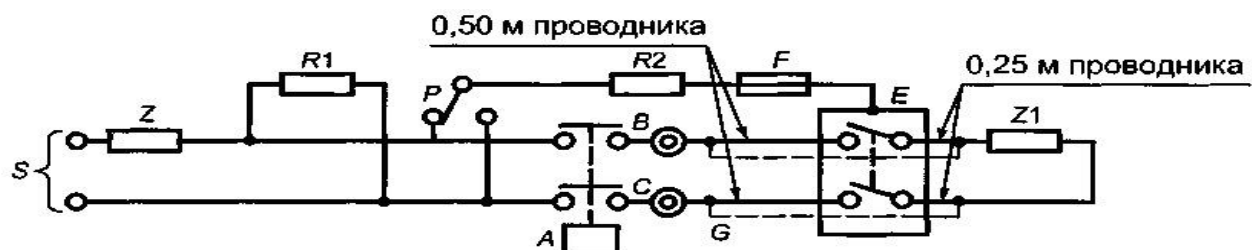


Рисунок 2а - Двухполюсный автоматический выключатель с одним защищенным полюсом

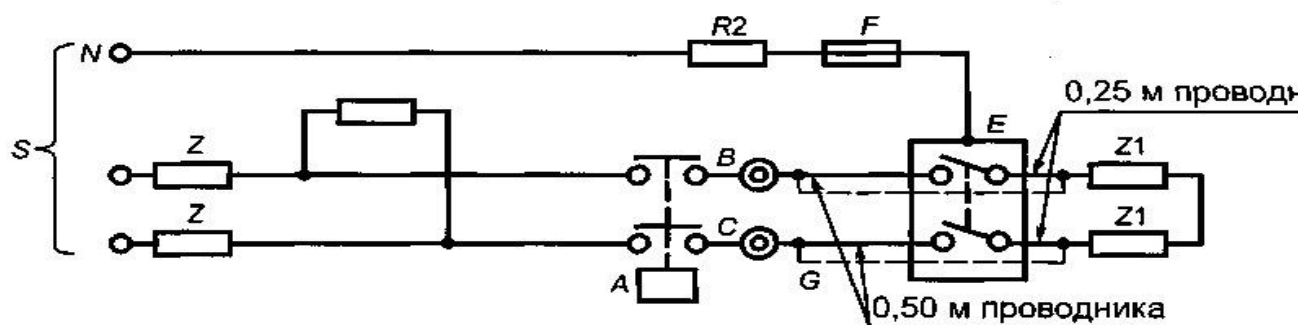


Рисунок 2б - Двухполюсный автоматический выключатель с двумя защищенными полюсами

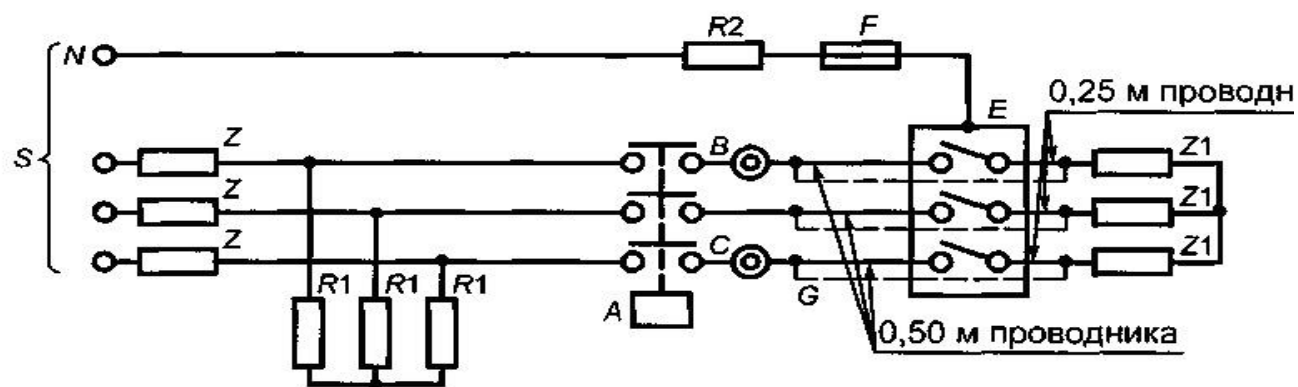


Рисунок 3 - Три однополюсных автоматических выключателя (не связанных между собой) или один трехполюсный выключатель

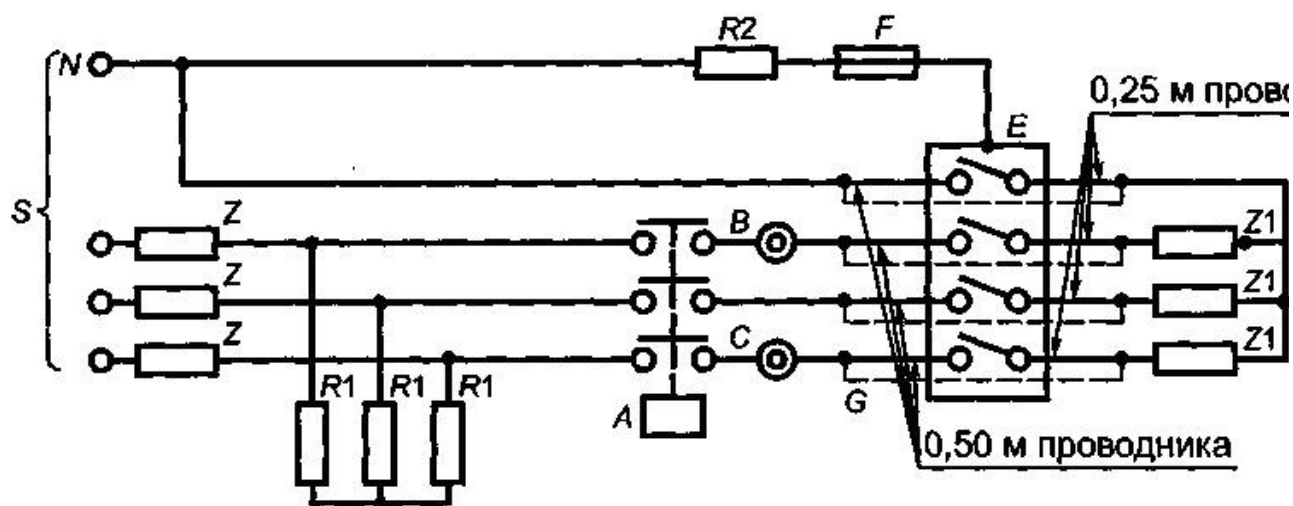


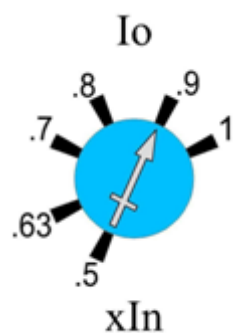
Рисунок 4 - Четырехполюсный автоматический выключатель

Наладка автоматических выключателей

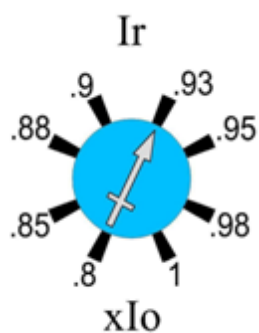
Регулировка уставок автоматического выключателя с электронным расцепителем

Для примера возьмем автоматический выключатель фирмы Schneider Electric, модель NS100 с электронным расцепителем STR22. Он имеет следующие регулируемые уставки защиты:

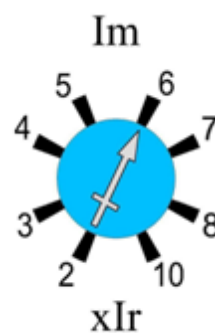
1. Защита от перегрузки (I_o , I_r)
 - I_o – грубая регулировка;
 - I_r – точная регулировка.
2. Защита от коротких замыканий (I_m)
 - I_m – регулировка защиты от КЗ.



www.volt-spb.ru



www.volt-spb.ru



www.volt-spb.ru

Защита от перегрузок - грубая и точная регулировки. Настройка защиты от КЗ

Для наглядности зададимся параметрами:

- мощности ($S = 49$ кВА);
- напряжения ($U = 0,38$ В);
- рабочего тока ($I_p = 75$ А);
- номинального тока автоматического выключателя ($I_n = 100$ А);
- тока однофазного короткого замыкания ($I_{кз} = 800$ А), методику расчета которого можно посмотреть [здесь](#).

Выставление уставок защиты

1. Выставим уставки защиты от перегрузок.

- Грубая регулировка: $I_o = 100 \cdot 0,8 = 80$ А;
- Точная регулировка: $I_r = 80 \cdot 0,98 = 78,4$ А.

Таким образом, мы получили уставку защиты от перегрузок равную $I_r = 78,4$ А, удовлетворяющую нашему току $I_p = 75$ А:

$$I_r \geq I_p; \quad 78,4 \text{ А} > 75 \text{ А}.$$

2. Выставим уставки защиты от токов короткого замыкания.

Для этого нам нужно соблюсти неравенство $I_{кз} > I_m$.

$$I_m = 78,4 \cdot 8 = 627 \text{ А}; \quad 800 \text{ А} > 627 \text{ А}.$$

В итоге получаем такое расположение регулировок:



Защита от перегрузок - грубая и точная регулировки. Настройка защиты от КЗ

Пример протокола испытания автоматических выключателей до 1000 В.

ПРОТОКОЛ № _____

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИСПЫТАНИЙ

№ п / п	Место установки, обозначен ие по схеме	Типов ое обозна чение (марки ровка)	Типы расцепите лей		Зада нная выде ржка вре мени (для катег ор). В), Сек	Номин альный ток, А	Уставка расцепите лей		Проверка расцепителя								Вывод о соответ ствии нормат ивному докуме нту
			Токов перег рузки , А	Токов коро того замы кания , А			Токов перег рузки , А	Токов коро того замы кания , А	Тока перегрузки			Тока короткого замыкания					
									Испыта тельный ток, А	Время срабатывани я, с.		Длитель ность прилож ения испытат ельного тока, сек.	Испытат ельный ток несрабат ывания, (А)	Реакц ия расцеп ителя, (+/-)	Испыта тельный ток срабаты вания, (А)	Реакц ия расцеп ителя, (+/-)	
										допус тимое	измер енное						
	Щиток Учёта ВПУ																
1	Вводной	ВА47- 29	ОВВ	С	---	40	50	200- 400	120	1-60	23,4	0,02	160	160	384,5	384,5	Соотв. НД
2	После счётчика	ВА47- 29	ОВВ	С	---	32	40	160- 320	96	1-60	18,3	0,02	128	128	317,4	317,4	Соотв. НД

	Щиток распредел ительный – ЩРВ																
3	Вводной	ВА47- 29	ОВВ	С	---	32	40	160- 320	96	1-60	19,8	0,02	128	128	312,8	312,8	Соотв. НД
4	Гр.1 Освещение 1 го этажа	ВА47- 29	ОВВ	С	---	10	13	50- 100	30	1-60	18,3	0,02	40	40	94,2	94,2	Соотв. НД
5	Гр.2 Розеточная сеть 1 го этажа	АВДТ -32	ОВВ	С	---	16	20	80- 160	48	1-60	20,3	0,02	64	64	146,2	146,2	Соотв. НД
6	Гр.3 Освещение 2 го этажа	ВА47- 29	ОВВ	С	---	10	13	50- 100	30	1-60	17,2	0,02	40	40	84,9	84,9	Соотв. НД
7	Гр.4 Розеточная сеть 2 го этажа	АВДТ -32	ОВВ	С	---	16	20	80- 160	48	1-60	23,5	0,02	64	64	154,3	154,3	Соотв. НД

Типы расцепителей:

1. ОВВ – максимальный расцепитель тока с обратно зависимой выдержкой времени. **НВВ** – максимальный расцепитель тока с независимой выдержкой времени.

3. МД – максимальный расцепитель тока мгновенного действия **4. В, С, D** – тип расцепителя по ГОСТ Р 50345.1-99

Наладка автоматических выключателей серии ВА

Все работы по обслуживанию электротехнического оборудования выполняются в соответствии с установленными нормативно-правовыми актами, правилами и требованиями. Наладка автоматических выключателей подразумевает следование определенному плану действий. Процедура состоит из нескольких этапов:

1. Внешний осмотр: исследование состояния наружных устройств на предмет наличия повреждений, сколов и трещин начинается после изучения руководства по эксплуатации, технического паспорта и другой документации по использованию оборудования.
2. Измерение сопротивления изоляции: сбор данных осуществляется посредством использования специального устройства – мегомметра между зажимами полюсов и конструкцией заземления в отключенном положении.
3. Испытание изоляции путем повышения напряжения промышленной частоты.
4. Проверка функционирования автоматических выключателей: контроль работоспособности устройств выполняется путем подачи номинального, пониженного и повышенного напряжения.
5. Испытание расцепителей выключателя серии ВА с подачей тока номинальной величины 200 А и более.

После осуществления всех необходимых испытаний заполняется сводная документация, где фиксируются все проводимые операции и указывается состояние проверяемого и налаживаемого оборудования.

Контрольные вопросы:

1. Периодичность испытаний автоматического выключателя.
2. Объем испытаний автоматического выключателя.

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа

Тема: Сдача в эксплуатацию конденсаторных установок.

Цель работы: Изучить этапы и объем испытаний конденсаторных установок.

Методическая часть работы

Конденсаторная установка состоит из конденсаторов, вспомогательного оборудования (выключатели, разъединители, резисторы, устройства регуляции и защиты), а также ошиновки. Конденсаторная батарея может быть одна или их может быть несколько. Единичные конденсаторы присоединяются к сети с помощью коммутационных аппаратов. Конденсаторные установки способствуют более надежной работе электрооборудования и позволяют экономить электроэнергию.

Емкость конденсаторной установки вычисляется по формуле соотношения заряда конденсатора к разности потенциалов, которую заряд сообщает конденсатору: $C=q/u$, где C — емкость, Ф; q — заряд, Кл; и u - разность потенциалов на обкладках конденсатора, В.

Конденсаторные установки могут быть как однофазными, так и трехфазными. Установленная мощность конденсаторов составляет 25÷50 МВАр включительно. Установки, предназначенные для размещения на открытых площадках выполняются в специальных корпусах и имеют категорию «1». Конденсаторные установки могут дополнительно укомплектовываться переключателем мощности конденсаторов, ограничителями, трансформаторами тока и напряжения.

Нарушение нормальной работы конденсатора чаще всего является следствием загрязнения трубок и нарушением водяной и воздушной плотности. Поэтому при ремонте конденсатора производится очистка трубок и устранение присосов воды и воздуха в его паровое пространство. Способ очистки внутренних поверхностей трубок конденсаторов зависит от степени загрязнения их и от состава и твердости отложений. Все существующие методы очистки конденсаторов разделяют на следующие две группы: механическая и химическая. Механическая очистка трубок производится специальными шомполами с волосяными ершами. Такой способ очистки трубок требует длительного времени и большой затраты

физического труда, особенно при наличии в трубках твердых солевых отложений. Механическая очистка трубок может также производиться резиновыми шариками или цилиндрами путем их проталкивания через трубки сжатым воздухом или под напором воды. При жестких отложениях в трубках очистка резиновыми шариками должного эффекта не дает. В этом случае лучшая очистка трубок достигается при простреливании трубок металлическими ершами.

Химическая очистка трубок конденсаторов производится путем промывки их раствором каустической соды, либо раствором соляной кислоты. Выбор того или иного способа промывки трубок и режим промывки устанавливаются химлабораторией в зависимости от характера отложений в трубках. Очистку трубок каустической содой целесообразно применять при мягких отложениях, а при наличии твердых отложений очистку трубок следует производить слабым (3-4%) раствором технической соляной кислоты. При химической очистке водяное пространство конденсатора заполняют водой и раствором каустической соды или кислоты. Раствор готовится в специально предназначенном для этой цели бачке. После заливки раствора соды или кислоты в водяное пространство воду в конденсаторе подогревают паром до температуры 60-65° С. Для принудительной циркуляции раствора по трубкам конденсатора устанавливают специальный насос. Промывку конденсатора прекращают после того, как приостановится снижение концентрации раствора (обычно через 4-5 ч).

При ремонте конденсаторов надо производить осмотр трубок с паровой стороны для определения размеров эрозионного износа верхних рядов, износа от трения трубок друг о друга при вибрации и износа в местах прохода трубок через промежуточные перегородки. Периодически (в несколько лет 1 раз) следует вырезать по одной-две трубки из каждого пучка для производства металлографических исследований материала. Поврежденные трубки следует заменять новыми. Перед установкой новых трубок надо обязательно зачистить отверстия в трубных досках от ржавчины и заусенцев. Зачистка отверстий производится посредством наждачной бумаги, либо при помощи металлического ерша, укрепленного на валу электродрели. Концы трубок точно так же должны быть зачищены до блеска. При ремонте конденсатора необходимо производить очистку конденсатороборника, ревизию атмосферного клапана и другой запорной арматуры. Приемку конденсатора из ремонта надо производить до закрытия

водяных камер. При приемке необходимо проверять и оценивать качество очистки и состояние поверхностей трубок, перегородок, камер, состояние сальников, водоуказательных стекол, атмосферного клапана. После осмотра производится проверка гидравлической плотности конденсатора. Проверка воздушной плотности конденсатора делается после пуска турбины.

Эксплуатация конденсаторов, предназначенных для повышения коэффициента мощности

Каждая установка из статических конденсаторов снабжается термометром для измерения температуры в помещении, разрядной штангой для контрольного разряда конденсаторов и необходимыми защитными и противопожарными средствами — огнетушителем и ящиком с песком. Статические конденсаторы очень чувствительны к ненормальным режимам их эксплуатации. Поэтому за условиями их работы ведут тщательное наблюдение. Эксплуатацию статических конденсаторов прекращают и установку отключают от сети при: повышении напряжения на питающих шинах более 110% от номинального напряжения конденсаторов; температуре, превышающей допустимую для конденсаторов принятого типа; вспучивании стенок конденсаторов; неравномерности нагрузки отдельных фаз, превышающей 10%; увеличении тока конденсаторной батареи более чем на 15% от ее номинального значения. Как видно из указанного, обслуживание конденсаторной установки сводится в основном к наблюдению за приборами, характеризующими ее работу (амперметры, вольтметры, термометры). Операции по включению и отключению батареи статических конденсаторов имеют ряд особенностей, а потому они могут поручаться только лицам, имеющим соответствующую квалификацию. Включают и отключают батареи статических конденсаторов по графику, устанавливаемому для каждого предприятия применительно к условиям его работы. К отключению конденсаторной батареи можно приступить (по условиям безопасности обслуживающего персонала) лишь после предварительного наружного осмотра и проверки исправности разрядного сопротивления (по лампам или вольтметрам). При эксплуатации батареи статических конденсаторов ее периодически осматривают. Такие осмотры производят без отключения батареи (через сетчатое ограждение) в следующие сроки: при напряжении батареи до 1000 в и мощности до 500 квар не реже одного раза в месяц, а батарей большей мощности — не реже одного раза в декаду.

Кроме указанных плановых осмотров, батареи статических конденсаторов подвергают внеочередным осмотрам в случаях появления шума в конденсаторах, повышения напряжения на зажимах выше допустимого, повышения температуры до опасных для конденсаторов значений и других ненормальных явлениях.

При осмотре батареи статических конденсаторов обращают внимание на общий порядок и отсутствие пыли или грязи в помещении, на температуру окружающего воздуха, на состояние баков конденсаторов и отсутствие из них течи, на целостность плавких вставок, равномерность распределения нагрузок по фазам, на величину напряжения на питающих шинах, на состояние разрядных сопротивлений, на наличие и исправность защитных и противопожарных средств. Обнаруженные при осмотрах неисправности записывают в журнал эксплуатации батареи статических конденсаторов. Для уменьшения вероятности выхода батареи конденсаторов из строя ее, помимо осмотров, подвергают текущим ремонтам. Такие ремонты производят с отключением установки не реже одного раза в год. В состав текущих ремонтов батареи статических конденсаторов входят следующие операции: проверка затяжки гаек в контактных соединениях; проверка мегомметром целостности плавких вставок и цепи разряда конденсаторов; проверка путем внешнего осмотра качества присоединения ответвлений к заземляющему контакту; тщательная очистка поверхности изоляторов, баков конденсаторов, аппаратуры и каркаса от пыли и других загрязнений, измерение емкости каждого конденсатора (производится для конденсаторов напряжением свыше 1000 в); проверка конденсаторов мегомметром на отсутствие замыкания между зажимами и корпусом.

Электрическая емкость

Емкость конденсатора равна отношению заряда к разности потенциалов между обкладками конденсатора:

$$C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2} = \frac{q}{U}.$$

Помимо емкости каждый конденсатор характеризуется $U_{\text{раб}}$ (или $U_{\text{пр.}}$) – максимальное допустимое напряжение, выше которого происходит пробой между обкладками конденсатора.

Соединение конденсаторов

Емкостные батареи – комбинации параллельных и последовательных соединений конденсаторов.

1) Параллельное соединение конденсаторов (рис. 1):

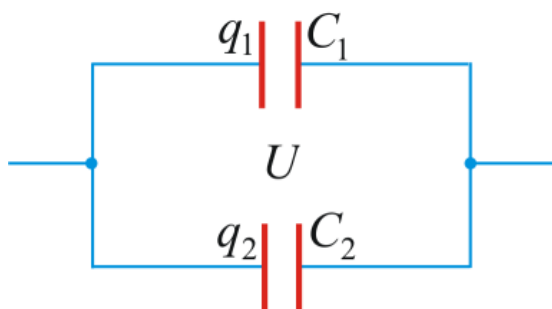


Рис. 1

В данном случае общим является напряжение U : $q_1 = C_1 U$; $q_2 = C_2 U$.

Суммарный заряд: $q = q_1 + q_2 = U(C_1 + C_2)$.

Результирующая емкость: $C = \frac{q}{U} = C_1 + C_2$.

Сравните с параллельным соединением сопротивлений R : $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_2}$.

Таким образом, при параллельном соединении конденсаторов суммарная емкость $C = \sum_k C_k$.

Общая емкость больше самой большой емкости, входящей в батарею.

2) Последовательное соединение конденсаторов (рис. 2):

Общим является заряд q .

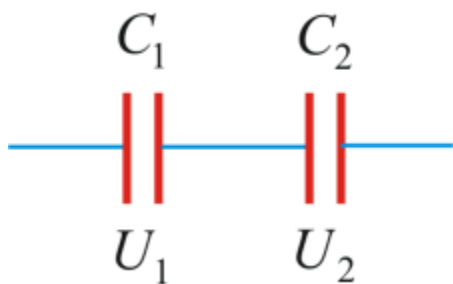


Рис. 2

$$U_1 = \frac{q}{C_1}; \quad U_2 = \frac{q}{C_2}; \quad \text{или} \quad U = \sum_k U_k = q \sum_k \frac{1}{C_k}, \text{ отсюда}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

Сравните с последовательным соединением R :

$$R = R_1 + R_2.$$

Таким образом, при последовательном соединении конденсаторов общая емкость меньше самой маленькой емкости, входящей в батарею:

$$\frac{1}{C} = \sum_k \frac{1}{C_k}.$$

Расчет емкостей различных конденсаторов

1. Емкость плоского конденсатора

Напряженность поля внутри конденсатора (рис. 3):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon}.$$

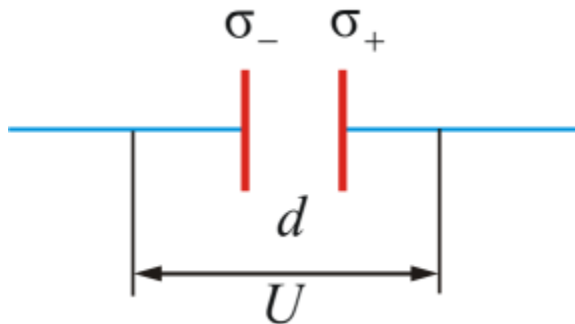


Рис. 3

Напряжение между обкладками:

$$U = \phi_1 - \phi_2 = \int_{x_1}^{x_2} E dx = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} d,$$

где $d = x_2 - x_1$ — расстояние между пластинами.

Так как заряд $q = cS$, то

$$C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2} = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}.$$

Как видно из формулы, диэлектрическая проницаемость вещества очень сильно влияет на емкость конденсатора. Это можно увидеть и экспериментально: заряжаем электроскоп, подносим к нему металлическую пластину – получили конденсатор (за счет электростатической индукции, потенциал увеличился). Если внести между пластинами диэлектрик с ε , больше, чем у воздуха, то емкость конденсатора увеличится.

$$\varepsilon_0 = \frac{Cd}{\varepsilon S},$$

$$[\varepsilon_0] = \frac{[C] \cdot [d]}{[S]} = \frac{\Phi \cdot \text{м}}{\text{м}^2} = \frac{\Phi}{\text{м}}.$$

Расчет конденсаторов сводится к определению их теплопередающей поверхности и количества охлаждающей воды или воздуха. Прежде всего, рассчитывают тепловую нагрузку (производительность) конденсатора по формуле

$$Q_k = Q_0 \text{ брутто} + 1000 \cdot N_{\text{теор}},$$

где $Q_0 \text{ брутто}$ – холодопроизводительность брутто с учетом потерь на тепловой эквивалент вентилятора, теплопередачу в испарителе и в трубопроводах на пути от регулирующего вентиля до компрессора, Вт;

$N_{\text{теор}}$ – теоретическая мощность компрессора, кВт.

В тепловой нагрузке конденсатора эквивалент работы компрессора составляет примерно 20–25% заданной холодопроизводительности. Поверхность теплопередачи F (м^2) определяют по формуле

$$F = \frac{Q_k}{K \Delta t_{\text{л}}} = \frac{Q_k}{q_F}, \quad (1)$$

$\Delta t_{\text{л}}$ – средняя логарифмическая разность температур;

q_F – удельный тепловой поток, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$).

$$\Delta t_{\text{л}} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2,3 \lg \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}},$$

где Δt_1 и Δt_2 – величины разности температур в начале и конце теплообмена.

При незначительных разностях температур в начале и конце теплообмена можно ограничиться определением средней арифметической разности

$$\Delta t = \frac{t_{\text{к}}'' + t_{\text{к}}'}{2} - \frac{t_{\text{в}}'' + t_{\text{в}}'}{2},$$

где $t''_к$ и $t'_к$ – температура конденсации, принимается на $2,5 - 5^\circ \text{C}$ выше температуры отходящей из конденсатора воды и на $8-10^\circ \text{C}$ выше температуры отходящего воздуха (для воздушного конденсатора);
 $t'_в$ и $t''_в$ – температура поступающей и отходящей воды (воздуха).

НОРМЫ ИСПЫТАНИЙ КОНДЕНСАТОРОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

К, Т, М, - производятся в сроки, устанавливаемые системой ППР

Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания
1. Проверка состояния конденсатора	Т	Производится внешним осмотром. Не должно быть течи пропитывающей жидкости, повреждения изоляторов, габаритные размеры должны соответствовать указанным в инструкции завода-изготовителя	С эксплуатации снимаются конденсаторы, имеющие неустранимую капиллярную течь, повреждение изоляторов, увеличение габаритных размеров сверх указанных в заводской инструкции
2. Измерение сопротивления изоляции	Т	Сопротивление изоляции между выводами и корпусом должно соответствовать данным заводской инструкции	Производится мегаомметром на напряжение 2500 В
3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты j	К	Значение и продолжительность приложения испытательного напряжения устанавливаются заводскими инструкциями. При отсутствии указаний заводов-изготовителей испытательные	Испытывается изоляция относительно корпуса при закороченных выводах конденсатора. Испытание конденсаторов, имеющих один

		напряжения конденсаторов для повышения $\cos\varphi$ принимаются по табл., для конденсаторов связи по табл. Испытания напряжением промышленной частоты могут быть заменены одномоментным испытанием выпрямленным напряжением удвоенного значения	соединенный с корпусом вывод, не производится
4. Измерение емкости отдельного элемента d	К, Т	Измеренная емкость должна отличаться от паспортных данных более чем: на $\pm 10\%$ - конденсаторов в установках для повышения коэффициента мощности, конденсаторов в установках продольной компенсации и конденсаторов в установках для защиты от перенапряжений; на $\pm 5\%$ - конденсаторов связи, отбора мощности и делительных. При удовлетворительных результатах тепловизионного контроля измерение емкости не обязательно	Производится при температуре $(15 - 35)^\circ\text{C}$. При контроле конденсаторов под рабочим напряжением оценка их состояния производится сравнением измеренных значений емкостного тока или напряжения конденсатора с исходными данными или значениями, полученными для конденсаторов других фаз (присоединений)
5. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь	К	Измеренное значение $\text{tg}\varphi$ не должно превышать значения $0,8\%$ (при температуре 20°C)	Измерения производятся на конденсаторах связи, отбора мощности и делителей напряжения

6 Тепловизионный контроль	М	Производится в соответствии с установленными нормами и инструкциями заводов-изготовителей	
------------------------------	---	---	--

Измерение сопротивления изоляции конденсаторов. При испытании силовых конденсаторов измерение сопротивления изоляции производится мегаомметром на напряжение 2500 В между выводами и относительно корпуса конденсаторов. Сопротивление изоляции и отношение не нормируются.

Испытание конденсаторов повышенным напряжением промышленной частоты электрической прочности изоляции. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин. Испытанию подвергается изоляция между выводами конденсаторов и между выводами и корпусом. Испытательное напряжение принимается по табл. 1.

Таблица 1. Испытательные напряжения конденсаторов для компенсации реактивной мощности

Виды испытания	Испытательное напряжение, кВ, при рабочем напряжении, кВ					
	0,22	0,38	0,50	0,66	6,30	10,5
Между обкладками конденсатора	0,42	0,72	0,95	1,25	11,8	20
Относительно корпуса конденсатора	2,1	2,1	2,1	5,1	15,3	21,3

Мощность испытательного трансформатора при испытании изоляции между выводами конденсаторов должна быть сравнительно большой и может быть определена по формуле:

$$P_{\text{исп}} = \omega C U^2 \times 10^{-9}$$

где $P_{\text{исп}}$ - потребляемая мощность, кВА, C - емкость конденсатора, пФ, U - испытательное напряжение, кВ, ω - угловая частота испытательного напряжения, равная 314 при 50 Гц.

Подъем напряжения и снижение напряжения следует производить плавно. При отсутствии испытательного трансформатора достаточной

мощности испытания переменным током могут быть заменены испытанием выпрямленным напряжением, равным удвоенному по сравнению с указанным в табл. 1 напряжению.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты относительно корпуса изоляции конденсаторов, предназначенных для компенсации реактивной мощности, имеющих вывод, соединенный с корпусом, не производится. После испытания батарея конденсаторов должна быть надежно разряжена. Первоначально разряд производится через токоограничивающее сопротивление, а затем - накоротко.

Измерение емкости обязательно для конденсаторов, предназначенных для компенсации реактивной мощности на напряжение 1000 В и выше. Измерения следует производить при температуре 15 - 35°C. Измерение емкости конденсаторов производится при помощи мостов переменного тока, микрофарадометром, методом амперметра и вольтметра (рис. 1, а) или при помощи двух вольтметров (рис. 1,б).

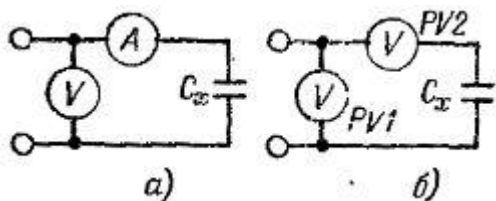


Рис. 1. Схемы измерения емкости конденсатора: а - методом амперметра и вольтметра, б - методом двух вольтметров.

Емкость при измерениях амперметром и вольтметром подсчитывается по формуле:

$$C_x = (I \times 10^6) / \omega U,$$

где C_x - емкость конденсатора, мкФ, I - измеренный ток, А, U - напряжение на конденсаторе, В, ω - угловая частота сети, равная 314 при 50 Гц.

При измерении емкости конденсаторов амперметром и вольтметром напряжение должно быть синусоидальным. При искаженной форме кривой тока за счет составляющих высших гармоник погрешность измерения значительно увеличивается. Поэтому рекомендуется измерения производить на линейном, а не на фазном напряжении сети и включать в цепь последовательно с конденсатором активное сопротивление, равное примерно 10 % реактивного сопротивления измеряемого конденсатора.

При измерениях при помощи двух вольтметров:

$$C_x = 10^6 / \omega R \tan \varphi,$$

R - внутреннее сопротивление вольтметра, Ом, $\operatorname{tg} \varphi$ - определяют по косинусу угла φ сдвига фаз между напряжениями вольтметров U1 и U2, $\cos \varphi = U_2/U_1$.

В однофазных конденсаторах измеряется емкость между выводами, в трехфазных - между каждой парой закороченных выводов и третьим выводом согласно табл. 2.

Таблица 2. Схемы измерения емкости трехфазных конденсаторов

Замкнуть накоротко выводы	Измерить емкость между выводами	Обозначение измеренной емкости
2 и 3	1 - (2 и 3)	C (1 - 2,3)
1 и 3	2 - (1 и 3)	C (2 - 1,3)
1 и 2	3 - (1 и 2)	C (3 - 1,2)

Измерение емкости между выводами и корпусом не производится. Нумерация выводов произвольная.

Емкость каждой фазы конденсатора, соединенного по схеме треугольник, определяется по данным измерений из уравнений:

$$C_{1,2} = \frac{C_{(1-2,3)} + C_{(2-1,3)} - C_{(3-1,2)}}{2}$$

$$C_{1,3} = \frac{C_{(1-2,3)} + C_{(3-1,2)} - C_{(2-1,3)}}{2}$$

$$C_{2,3} = \frac{C_{(2-1,3)} + C_{(3-1,2)} - C_{(1-2,3)}}{2}$$

Полная емкость конденсатора:

$$C = \frac{C_{(1-2,3)} + C_{(2-1,3)} + C_{(3-1,2)}}{2}$$

Измеренные емкости не должны отличаться от паспортных данных на значение не более чем на 10%.

Испытание батареи конденсаторов трехкратным включением на рабочее напряжение сети и измерение тока в каждой фазе батареи. При включении батареи конденсаторов не должно наблюдаться ненормальных явлений (автоматическое отключение, перегорание предохранителей, шум и потрескивание в баках и т. п.). Токи в различных фазах батареи не должны отличаться друг от друга более чем на 5 %. Запрещается включать конденсаторы на напряжение более 110 % номинального.

ИСПЫТАНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ ПОВЫШЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Цель испытания.

Приложение повышенного напряжения создает в испытываемой изоляции увеличенную напряженность электрического поля, что позволяет обнаруживать дефекты, вызвавшие снижение электрической прочности изоляции электрооборудования, недопустимое для его дальнейшей эксплуатации. Испытанием повышенным напряжением выявляются дефекты, которые другими способами (например, мегомметром) не могут быть обнаружены. Уровень испытательного напряжения (устанавливается нормами) выбирается возможно более высоким; количество обнаруженных мест с ослабленной изоляцией благодаря этому увеличивается; так как дефекты изоляции обнаруживаются и устраняются в ранних стадиях их развития, надежность работы электроустановок повышается. Испытание повышенным напряжением производится после предварительного осмотра и проверки с помощью мегомметра. При обнаружении во время предварительной проверки явных дефектов изоляции испытания могут быть произведены только после устранения дефектов. Испытание электрической прочности изоляции конденсаторов производится повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты. Величины испытательного напряжения приведены в табл. 4.

Таблица 4. Величины испытательного напряжения промышленной частоты изоляции конденсаторов для повышения коэффициента мощности

Вид испытательного напряжения	Номинальное напряжение конденсатора. кВ						
	0,22	0,38	0,5	1,05	3.15	6.3	10,5
Испытательное напряжение, кВ, при испытаниях между обкладками	0,42 0,37	0,72 0,64	0,95 0.85	2 1,72	5.9 5.15	11.8 10.2	20 17.2
Испытательное напряжение, кВ, при испытаниях на корпус	2,1 1,87	2,1 1,87	2,1 1.87	4,3 3.7	15,8 13,5	22,3 19,0	30 25

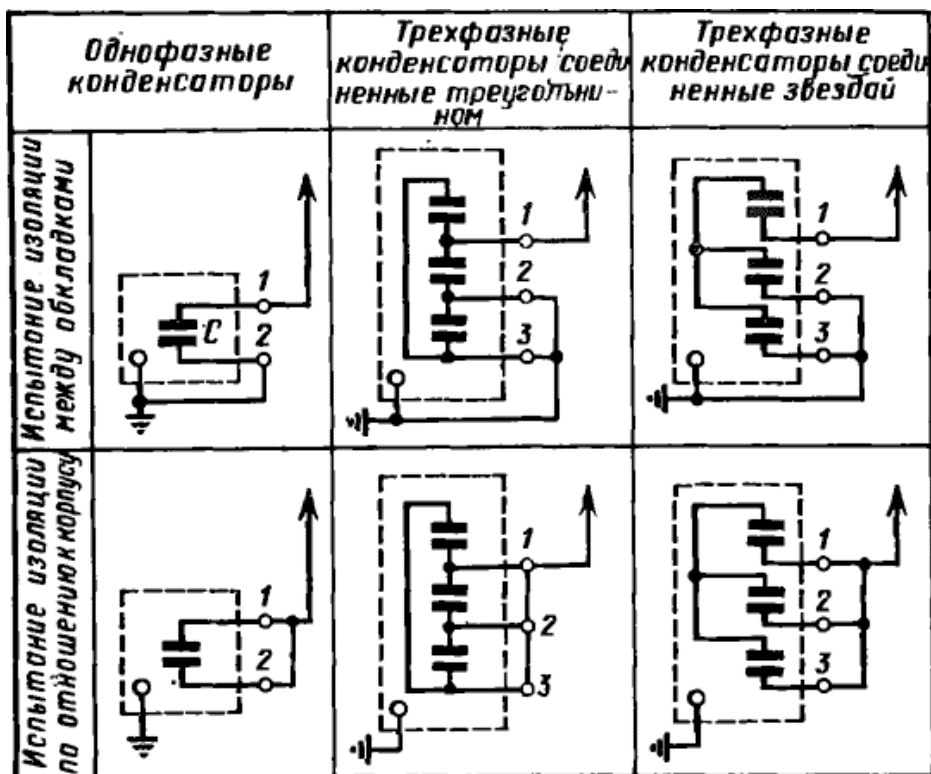
Порядок испытания.

Подъем напряжения при испытании конденсаторов рекомендуется начинать с величины, не превышающей 25—30% испытательного напряжения. Скорость повышения напряжения до 50% испытательного может быть произвольной; в дальнейшем напряжение следует плавно

повышать до полного значения со скоростью 0,5 кВ в секунду. Отсчет времени выдержки конденсатора под напряжением должен начинаться с момента, когда напряжение достигнет величины, установленной для испытываемого конденсатора.

После выдержки в течение 1 мин напряжение на конденсаторе плавно снижается до значения, не превышающего 30% от испытательного, после чего цепь может быть разомкнута. Недопустимы резкие скачки напряжения при подъеме или снижении напряжения при испытании. Снятие напряжения «толчком» допускается лишь в тех случаях, когда это необходимо для обеспечения безопасности людей или целостности оборудования. Во время испытания должно производиться непрерывное наблюдение с безопасного расстояния за состоянием испытываемого конденсатора. Это наблюдение может быть визуальным или с помощью сигнализации. Наблюдение ведут также за показателями вольтметра, измеряющего подаваемое на конденсаторы напряжение.

Изоляция считается выдержавшей испытание, если не произошло пробоя или перекрытия изоляции; не было отмечено частичных нарушений изоляции, выявленных по показаниям приборов (амперметром, вольтметром и т. п.) или наблюдением (разряды в баке, выделение газа и дыма, сильные скользящие разряды по поверхности и т. п.); не было отмечено местного нагрева изоляции.



Схемы испытаний конденсаторов повышенным напряжением (на всех схемах

стрелка направлена к источнику испытательного напряжения).

Нормы испытаний силовых конденсаторов находящихся в эксплуатации.

Объем и нормы эксплуатационных испытаний конденсаторов должны соответствовать требованиям ПЭЭП. Требования распространяются на конденсаторные установки напряжением от 0,22 до 10 кВ и частотой 50 Гц, предназначенные для компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения и присоединяемые параллельно индуктивным элементам электрической сети.

Объем и периодичность испытаний и измерений в гарантийный период должны приниматься в соответствии с указаниями инструкций предприятий изготовителей. К, Т - проводятся в сроки, установленные системой ППР, но не реже: К - 1 раз в 8 лет, Т - 1 раз в год.

Объем периодических проверок и испытаний, предусмотренных ПЭЭП, включает следующие работы.

1. Проверка внешнего вида и размеров.
2. Измерение сопротивления изоляции.
3. Измерение емкости отдельного элемента.
4. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.
5. Проверка срабатывания защиты конденсаторов до 1000 В при системе питания с заземленной нейтралью.

Проверка внешнего вида и размеров.

С эксплуатации снимаются конденсаторы, имеющие неустранимую капельную течь, повреждение изоляторов, увеличение габаритных размеров более указанных в заводской инструкции. Отсутствие течи пропитывающей жидкости, повреждения изоляторов,

соответствие габаритных размеров указанным в инструкции завода-изготовителя является обязательным для прохождения данного испытания.

Измерение сопротивления изоляции.

Проводится мегомметром 2500 В. Сопротивление изоляции между выводами и корпусом должно соответствовать данным заводской инструкции. О порядке измерения сопротивления изоляции следует руководствоваться указаниями.

Измерение емкости отдельного элемента.

Измерения должны проводиться при температуре 15-35 С. Погрешность измерительных приборов должна быть не выше: ± 1 % для конденсаторов на напряжение свыше 1,05 кВ; ± 2 % для конденсаторов на напряжение ниже 1,05 кВ. Измеренная емкость должна отличаться от паспортных данных не более чем на ± 10 %. О порядке измерения емкости элементов конденсатора следует руководствоваться указаниями выше.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

Проводится при капитальном ремонте. Испытания относительно корпуса проводится при закороченных выводах конденсатора. Испытание конденсаторов относительно корпуса, имеющих один вывод, соединенного с корпусом, не производится. Испытательные напряжения должны соответствовать данным табл. 6. Длительность испытания должна составлять 10 с. При отсутствии источника тока достаточной мощности испытания повышенным напряжением промышленной частоты могут быть заменены испытанием выпрямленным напряжением, значение которого должно быть вдвое выше указанного в табл. 6. О порядке испытания повышенным напряжением промышленной частоты следует руководствоваться указаниями выше.

Таблица: **Испытательное напряжение промышленной частоты конденсаторов**

Вид испытания	Испытательное напряжение, кВ, для конденсаторов с номинальным напряжением, кВ				
	0,66	1,05	3,15	6,3	10,5
Между выводами	1,1	1,7	5,1	10,2	17,0
Между выводами и корпусом	2,3	4,5	7,5	15,0	21,0

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. В чем состоит эксплуатация конденсаторных установок.
2. Прописать объем испытаний конденсаторных установок.

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Ответы на контрольные вопросы.

Лабораторно-практическая работа

Тема: Измерение и испытание изоляции.

Цель работы:

Изучить порядок и правила проведения измерений сопротивления изоляции проводов, кабелей, силового электрооборудования и аппаратов.

Получить практические навыки измерения сопротивления изоляции с помощью мегаомметров.

«Испытания сопротивления изоляции токоведущих частей электроустановок».

1. Испытание изоляции повышенным напряжением.

Зарисовать схему аппарата для испытания изоляции.

2. Измерение сопротивления изоляции мегаомметром.

Зарисовать схему мегаомметра М4100/5.

Записать характеристики мегаомметра М4100/5.

Зарисовать схему измерения сопротивления изоляции мегаомметром М4100/5 на пределе «МΩ».

Задания к работе

1. Изучить объемы и сроки испытаний сопротивления изоляции.

2. Ознакомиться с методами диагностирования изоляции.

3. Изучить методики проведения измерений сопротивления различными измерительными приборами.

4. Провести измерения сопротивления изоляции приборами ЭС0202-Г, Ф4102/2-1М.

5. Заполнить протоколы проверки сопротивлений изоляции проводов, кабелей, силового электрооборудования и аппаратов.

Измерения проводятся с целью проверки соответствия сопротивления изоляции установленным нормам.

Организационные мероприятия при проведении испытаний электроустановок. Работы по проведению измерения сопротивления изоляции мегаомметром разрешается выполнять в электроустановках напряжением выше 1000 В по наряду составом бригады не менее двух

человек, один из которых должен иметь группу по электробезопасности не ниже IV.

В электроустановках напряжением до 1000 В измерения выполняются по распоряжению двумя работниками, один из которых должен иметь группу по электробезопасности не ниже III.

В электроустановках до 1000 В, расположенных в помещениях, кроме особо опасных в отношении поражения электрическим током, работник, имеющий группу III и право быть производителем работ, может проводить измерения единолично.

В случаях, когда измерения мегаомметром входят в содержание работ по испытаниям (например, испытания электрооборудования повышенным напряжением промышленной частоты), оговаривать эти измерения в наряде или распоряжении не требуется.

Технические мероприятия при проведении испытаний электроустановок. Перечень необходимых технических мероприятий определяет лицо, выдающее наряд или распоряжение в соответствии с разделом 3 и главой 5.4. МПБЭЭ [4]. Измерения сопротивления изоляции мегаомметром должно осуществляться на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путем предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегаомметра.

Диагностирование изоляции

Под действием электрического поля в изоляции происходят сложные процессы. Во-первых, из-за присутствия в диэлектриках свободных зарядов, обусловленных примесями и дефектами строения, в изоляции всегда возникает ток сквозной проходимости i_u , во-вторых, происходит замедленная поляризация, т.е. смещение и поворот связанных дипольных молекул, создающих ток абсорбции i_a . В-третьих, происходит мгновенная поляризация, представляющая собой упругое смещение и деформацию электронных оболочек атомов и ионов и создающая ток смещения i_c .

Для изучения перечисленных процессов используют схему замещения изоляции (рис. 3.1 (а)). Резистор R_u характеризует сопротивление сквозному току; конденсатор C_a - емкость, обусловленную дипольной поляризацией; конденсатор C_c - емкость электронной поляризации (геометрическая емкость); резистор R_a - эквивалентные потери при дипольной поляризации.

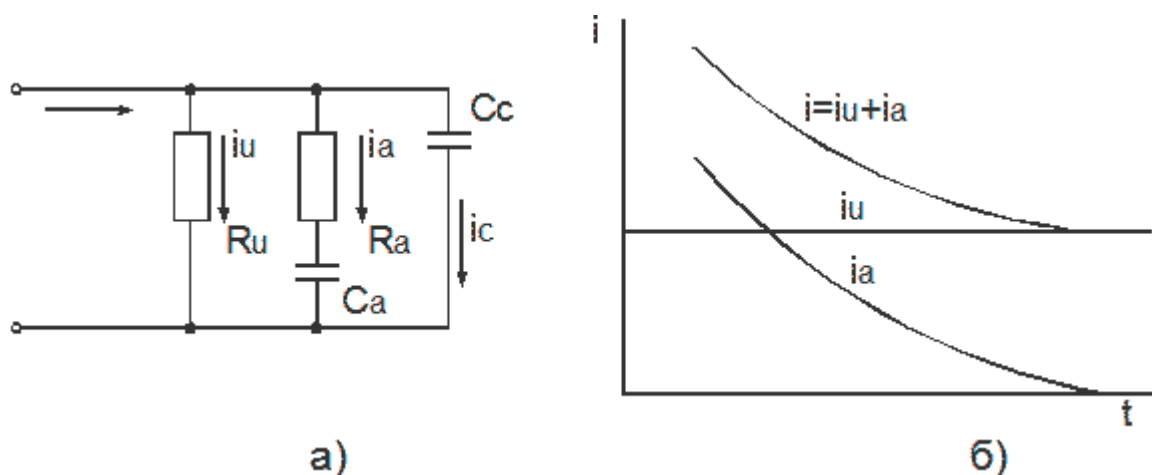


Рис. 3.1. Схема замещения изоляции (а) и диаграмма токов, протекающих по ней (б)

На рис. 3.1 (б) показаны зависимости токов, проходящих через изоляцию, от времени нахождения под постоянным напряжением. Как видно, ток абсорбции затухает по мере завершения процессов замедленной поляризации, а ток сквозной проводимости сохраняется неизменным. Токи смещения столь кратковременны, что их не учитывают. Суммарный ток i имеет затухающий характер.

Истинное сопротивление изоляции зависит от сквозного тока и его можно определить по формуле:

$$R_u = \frac{U}{i - i_a},$$

где U - приложенное напряжение, В.

Поскольку измерение i_a связано с определенными трудностями, сопротивление изоляции рассчитывают как частное от деления напряжения на значение тока, установившегося через минуту после включения напряжения. К этому моменту ток i_a затухает и не вносит погрешность. Если же измерение проводить при небольшой выдержке времени, то может создаться неправильное представление о сопротивлении изоляции.

Для исправной изоляции в ПУЭ и ПТЭЭП установлены нормативы, характеризующие параметры схемы замещения.

При эксплуатации электрооборудования его изоляция подвергается влиянию рабочего напряжения, кратковременным перенапряжением от грозовых разрядов и коммутационных операций, механическим и тепловым нагрузкам, загрязнению, увлажнению и другим неблагоприятным

воздействиям. В результате этого свойства изоляции непрерывно ухудшаются.

Из схемы замещения видно, что от качества изоляции зависят значения токов утечки, абсорбции, смещения и мощности потерь в цепи $R_a C_a$. Поэтому их принимают за диагностические параметры изоляции.

Дополнительно используют характеристики электрической прочности. Задача диагностирования состоит в том, чтобы определить фактические значения параметров и сравнить их с соответствующими нормами.

К основным способам диагностирования изоляции относятся: измерение сопротивлений изоляции; измерение емкости изоляции; измерение диэлектрических потерь; измерение по току сквозной проводимости; испытание повышенным напряжением переменного или постоянного тока.

Определение увлажненности изоляции по коэффициенту абсорбции

Пусть изоляция некоторого электрооборудования, например, электродвигателя, моделируется схемой замещения (см. рис. 3.1, а). Из рассмотрения процессов электропроводности и поляризации следует, что для заведомо сухой изоляции в процессе измерения суммарный ток $i_{\text{сух}}$ будет резко затухать (рис. 3.2).

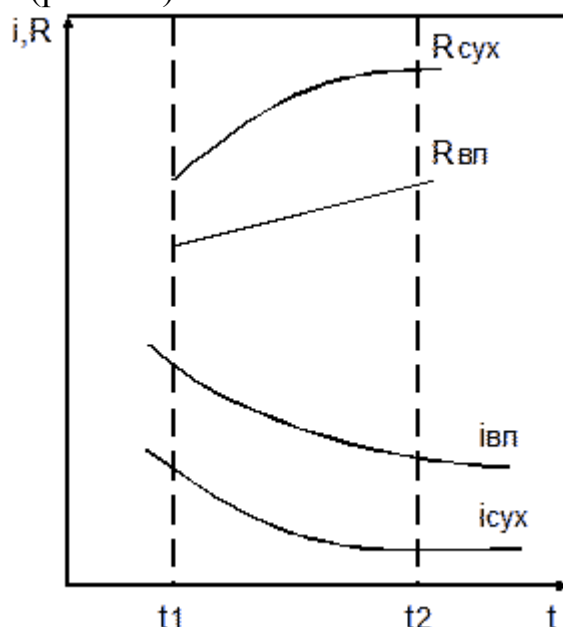


Рис. 3.2. График изменения полного тока и сопротивления сухой и влажной изоляции

У влажной изоляции такого же двигателя суммарный ток $i_{\text{вл}}$ больше и будет затухать медленнее, потому что из-за увлажнения прирост тока

сквозной проводимости больше, чем прирост тока абсорбции. Описанный характер изменения суммарного тока определяет динамику сопротивления изоляции. При постоянном напряжении мегаомметра сопротивление сухой изоляции $R_{\text{сух}}$ при измерении будет резко увеличиваться, а сопротивление влажной $R_{\text{вл}}$ будет возрастать незначительно. Следовательно, по состоянию сопротивления изоляции в зависимости от продолжительности измерения можно определить, увлажнена изоляция или нет.

Диагностирование увлажнения изоляции состоит в измерении мегаомметром ее сопротивления в моменты t_1 и t_2 ($t_2 > t_1$) после подачи напряжения и определения отношения R_{t_2}/R_{t_1} , называемого коэффициентом абсорбции равным отношению измеренного сопротивления изоляции через 60 секунд после приложения напряжения мегаомметра (R_{60}) к измеренному сопротивлению изоляции через 15 секунд (R_{15}), при этом:

$$K_{\text{абс}} = \frac{R_{60}}{R_{15}}.$$

Если $(R_{60}/R_{15}) > 1,3$ то изоляцию считают сухой; если $(R_{60}/R_{15}) \leq 1,3$, то изоляцию признают влажной.

Определение увлажненности изоляции способом «емкость - частота»

Соотношение величин емкостей абсорбции и смещения изоляции зависит от степени ее увлажнения. В сухой изоляции преобладает электронная поляризация, характеризуемая емкостью смещения, а во влажной - дипольная поляризация (за счет дипольных молекул воды усиливается емкость абсорбции). Абсолютные значения величин этих емкостей имеют различную зависимость от частоты тока (рис. 3.3).

Емкость сухой $C_{\text{сух}}$ изоляции практически не зависит от частоты, так как поляризация в ней происходит почти мгновенно. Емкость же влажной изоляции $C_{\text{вл}}$ с ростом частоты убывает. Это объясняется тем, что при малой частоте дипольные молекулы воды успевают следовать (поворачиваться) за полем и $C_{\text{вл}}$ имеет наибольшее значение. Когда же частота становится большой, молекулы из-за своей инертности не успевают следовать за полем. Абсорбционная емкость уменьшается, и ее значение приближается к емкости, обусловленной лишь электронной поляризацией. Поэтому по степени изменения емкости от частоты можно определить увлажненность изоляции.

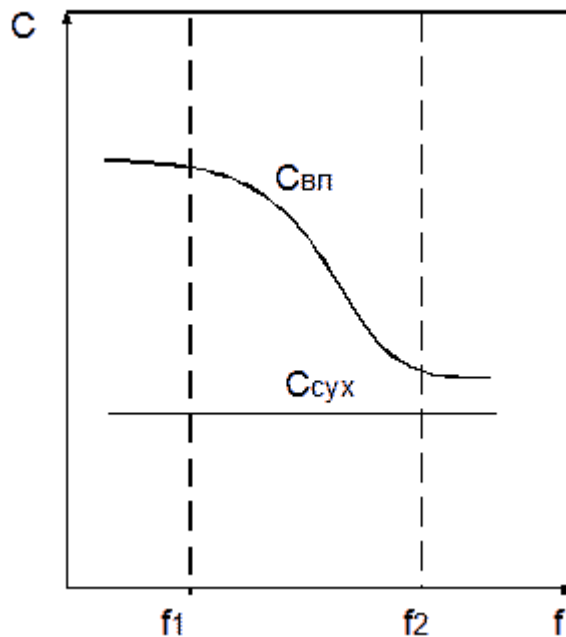


Рис. 3.3. График изменения емкости сухой и влажной изоляции

Диагностирование увлажнения состоит в измерении емкости изоляции при частоте f_1 и f_2 ($f_2 > f_1$) и определении отношения C_{f1}/C_{f2} . Обычно принимают $f_1=2$, $f_2=50$ Гц и измеряют соответственно C_2 и C_{50} - Если $(C_2/C_{50}) < 1,2$, то изоляция сухая, если $(C_2/C_{50}) \geq 1,2$ - увлажненная. Такой способ диагностирования проводят при помощи прибора контроля влажности изоляции.

Определение местных дефектов изоляции по частичным разрядам

Электрическое поле исправной изоляционной системы содержит основную гармонику. При появлении в изоляции каверн, расслоений, трещин и других дефектов в них равномерность поля нарушается, возникают частичные разряды, создающие высокочастотные колебания. Обнаружение этих колебаний при помощи специального прибора (индикатор частичных разрядов - ИЧР) позволяет выявить наличие дефектов, а в отдельных случаях место их расположения. Принцип действия ИЧР основан на использовании воздействия электрических нестационарных процессов, сопровождающих разряды, на электрический колебательный контур или антенну, усилитель и измерительный прибор.

Алгоритм диагностирования состоит в следующем. На изоляцию подают повышенное напряжение. Приемным колебательным контуром или антенной ИЧР исследует пространство вокруг изоляционной системы. При этом измерительный прибор ИЧР позволяет зафиксировать высокочастотные колебания и выявить место, где они имеют наибольший

уровень. Обычно это место совпадает с местным дефектом. Известны схемы, в которых ИЧР подключают к исполнительной цепи через разделительный конденсатор.

Определение местных дефектов изоляции по току сквозной проводимости

В исправной изоляции ее сопротивление сохраняет постоянное значение в большом диапазоне измерения испытательного напряжения. При появлении местных дефектов сопротивление снижается по мере увеличения напряжения.

В зависимости от степени развития и характера неисправности изоляции снижение сопротивления начинается при различных напряжениях. Таким образом, исправная изоляция имеет линейную, а неисправная - нелинейную вольтамперную характеристику.

Изоляцию проверяют в следующей последовательности. Подключают через микроамперметр обмотку одной из фаз к регулируемому источнику переменного напряжения. Плавно увеличивают напряжение до 1200 В и записывают ток утечки I_1 . Затем повышают напряжение до 1800 В и записывают ток утечки I_2 . Аналогичные измерения проводят для остальных фаз. Когда нулевая точка обмотки недоступна, то к источнику подключают один из выводов обмотки, т.е. испытывают сразу изоляцию трех фаз. Изоляцию считают исправной, если при повышении напряжения не наблюдают бросков тока; ток утечки при напряжении 1800 В не превышает 95 мкА для одной фазы (230 мкА для трех фаз); относительное приращение токов не более 0,9; коэффициент несимметрии токов утечки фаз не превышает 1,8.

Определение износа изоляции по значению диэлектрических потерь

Из схемы замещения изоляции (см. рис. 3.1, а) видно, что при подаче переменного напряжения U установившийся ток будет иметь две составляющие: I_a - активный ток, зависящий от сопротивления изоляции R_u и проводимости абсорбционной ветви $R_a C_a$; I_c - реактивный ток, зависящий в основном от реактивной проводимости абсорбционной ветви $R_a C_a$ и частично от C_c . Потребляемая мощность также будет иметь две составляющие, одна из которых - мощность диэлектрических потерь

$$P = UI_c \operatorname{tg} \delta,$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_c}$$

где $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь.

Диэлектрические потери зависят от вида диэлектрика и от его состояния. Тепловой износ, посторонние включения и влага ухудшают качество изоляции, что приводит к увеличению $\operatorname{tg} \delta$ по сравнению с новой изоляцией. Поэтому по значению $\operatorname{tg} \delta$ можно определить степень износа изоляции. Диагностирование изоляции по $\operatorname{tg} \delta$ используют для определения состояния в основном высоковольтного электрооборудования. Для измерения угла диэлектрических потерь применяют схему высоковольтного моста или схему с ваттметром. Последняя проста и удобна, однако ее недостаток в том, что получают меньшую точность измерений, чем при помощи схемы моста.

3.2. Учет температуры при измерении сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции является изменчивой величиной, поскольку зависит от многих факторов. Наибольшее влияние на нее оказывают температура и влажность, с увеличением которых сопротивление изоляции снижается. Целью измерения сопротивления изоляции является установление возможности проведения испытаний машины или включения ее в сеть без повышенного риска повреждения.

Такие измерения проводятся мегаомметром, который содержит источник питания постоянного напряжения. Если применяется мегаомметр с генератором постоянного тока, то его ручка должна вращаться непрерывно и равномерно, пока стрелка прибора не установится; при всяком замедлении или перерыве во вращении обмотка разряжается через мегаомметр на корпус, что затягивает измерение или вызывает дополнительные погрешности, особенно для обмоток крупных машин, имеющих значительную емкость.

Для сопротивления изоляции обмоток электрических машин нормируется лишь наименьшее значение при рабочей температуре. Основным критерием при суждении о допустимом состоянии изоляции обмоток является сравнение сопротивления изоляции в процессе эксплуатации. При этом температура, при которой производятся измерения, должна быть одинаковой, т.е. $t_1 = t_2 = \dots = t_n$, где n - очередной номер измерений, а продолжительность измерения должна быть равна одной минуте.

Если сопротивление изоляции уменьшилось более чем на 30% по сравнению с предыдущим, то сопротивление изоляции считается недопустимым. Более подробно объем, периодичность, и другие нормы испытаний электрооборудования приводятся в первом разделе ПУЭ. Здесь указано, что при температуре изоляции, равной 75°C ее сопротивление должно быть не меньше определяемого по формуле (3.1), но не менее 0,5 МОм.

При температуре электрооборудования в 20°C сопротивление изоляции должно быть не менее 4,7 МОм. Это следует из приведения допустимого значения сопротивления изоляции (0,5 МОм) при 75°C к температуре 20°C на основе коэффициентов, показанных в табл. 3.1

Коэффициенты приведения сопротивления изоляции к одной температуре

Разность температур	5	10	15	20	25	30	35	40
Коэффициент приведения	1,2 3	1,5 0	1,8 0	2,2 5	2,7 5	3,4 0	4,1 5	5,1 0

Методика применения табл. 3.1. состоит в следующем. Находят разность температур $\Delta t = 75 - 20 = 55^\circ\text{C}$. По ней из табл. 3.1. определяют значение коэффициентов приведения. В том случае, если разность температур более 40°C, можно принять два или более коэффициента приведения. В нашем случае интервал 55° можно разбить на две составляющих - 25° и 30°, в первом случае коэффициент приведения равен 2,75, а во втором - 3,40. Тогда общий коэффициент приведения равен $2,75 \cdot 3,40 = 9,35$. Значит, сопротивление изоляции при 20°C должно быть равно: $0,5 \cdot 9,35 = 4,7$ МОм.

Приблизительно оценить значения сопротивления изоляции при рабочей температуре (75°C) можно, пользуясь следующим правилом: в случае измерения сопротивления изоляции при температуре ниже рабочей, сопротивление изоляции следует удваивать на каждые полные или неполные 20°C разности между рабочей температурой и той температурой, при которой выполнялись измерения.

Например: при температуре 20°C сопротивление изоляции было равно 4,8 МОм, рабочая температура обмотки равна 75°C, тогда разность температур $\Delta t = 75 - 20 = 55^\circ\text{C}$. Согласно правилу, в этой разности находится 3 полных (или неполных) интервала по 20°C ($20 + 20 + 15 = 55$). Тогда приведенный результат измерения будет равен:

$$R_{\text{прис}} = \frac{R_{20^{\circ}\text{C}}}{2 \cdot 2 \cdot 2} = \frac{4,8}{2 \cdot 2 \cdot 2} = 0,6 \text{ МОм}$$

Полное заключение о состоянии изоляции делают по совокупности результатов измерений. Но в ряде случаев выделяют отдельные определяющие параметры, которые в некоторых условиях достаточно полно оценивают качество изоляции. Такой подход оправдан для выявления конкретных неисправностей изоляции (увлажнение, старение и т.п.)

Измерение сопротивления изоляции электрооборудования

Измерение сопротивления изоляции силовых кабелей и электропроводок

При измерении сопротивления изоляции необходимо учитывать следующее:

– измерение сопротивления изоляции кабелей (за исключением кабелей бронированных) сечением до 16 мм² производится мегаометром на 1000 В, а выше 16 мм² и бронированных - мегаометром на 2500 В; измерение сопротивления изоляции проводов всех сечений производится мегаометром на 1000 В.

При этом необходимо производить следующие замеры: на 2- и 3-проводных линиях - три замера: L-N, N-PE, L-PE; на 4-проводных линиях - 4 замера: L₁-L₂L₃PEN, L₂-L₃L₁PEN, L₃-L₁L₂PEN, PEN-L₁L₂L₃, или 6 замеров: L₁-L₂, L₂-L₃, L₁-L₃, L₁-PEN, L₂-PEN, L₃-PEN; на 5-проводных линиях – 5 замеров: L₁-L₂L₃ NPE, L₂-L₁L₃NPE, L₃-L₁L₂NPE, N-L₁L₂L₃PE, PE-NL₁L₂L₃, или 10 замеров: L₁-L₂, L₂-L₃, L₁-L₃, L₁-N, L₂-N, L₃-N, L₁-PE, L₂-PE, L₃-PE, N-PE.

Если электропроводки, находящиеся в эксплуатации, имеют сопротивление изоляции менее 1 МОм, то заключение об их пригодности делается после испытания их переменным током промышленной частоты напряжением 1 кВ.

Измерение сопротивления изоляции силового электрооборудования

Как указывалось ранее, значение сопротивления изоляции электрических машин и аппаратов в большой степени зависит от температуры. Замеры следует производить при температуре изоляции не ниже +5°C кроме

случаев, оговоренных специальными инструкциями. При более низких температурах результаты измерения из-за нестабильного состояния влаги не отражают истинной характеристики изоляции. При существенных различиях между результатами измерений на месте монтажа и данными завода-изготовителя, обусловленных разностью температур, при которых проводились измерения, следует откорректировать эти результаты по указаниям изготовителя.

При измерении сопротивления изоляции силовых трансформаторов используются мегаомметры с выходным напряжением 2500 В., измерения проводятся между каждой обмоткой и корпусом и между обмотками трансформатора. При этом R_{60} должно быть приведено к результатам заводских испытаний в зависимости от разности температур, при которых проводились испытания. Значение коэффициента абсорбции должно отличаться (в сторону уменьшения) от заводских данных не более, чем на 20%, а его величина должна быть не ниже 1,3 при температуре 10 - 30 °С. При невыполнении этих условий трансформатор подлежит сушке.

Сопротивление изоляции автоматических выключателей и УЗО производится:

1. Между каждым выводом полюса и соединенными между собой противоположными выводами полюсов при разомкнутом состоянии выключателя или УЗО.
2. Между каждым разноименным полюсом и соединенными между собой оставшимися полюсами при замкнутом состоянии выключателя или УЗО.
3. Между всеми соединенными между собой полюсами и корпусом, обернутым металлической фольгой.

При этом для автоматических выключателей бытового и аналогичного назначения (ГОСТ Р50345-99) и УЗО при измерениях по п.п. 1, 2 сопротивление изоляции должно быть не менее 2 МОм, по п. 3 – не менее 5 МОм.

Для остальных автоматических выключателей (ГОСТ Р50030.2-99) во всех случаях сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

3.4. Нормируемые величины

Периодичность испытаний и минимальная допустимая величина сопротивления изоляции должны соответствовать указанным в нормах

испытаний электрооборудования и аппаратов Правил устройства электроустановок (ПУЭ), Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Минимально допустимые значения сопротивления изоляции электроустановок напряжением до 1000 В.

(Приложение 3; 3.1 ПТЭЭП)

Наименование элемента	Напряжение мегаомметра, В	Сопротивление изоляции, МОм	Примечание
1	2	3	4
Электроизделия и аппараты на номинальное напряжение, В:		Должно соответствовать указаниям изготовителей, но не менее 0,5	При измерениях полупроводниковые приборы в изделиях должны быть зашунтированы
до 50	100		
свыше 50 до 100	250		
свыше 100 до 380	500-1000		
свыше 380	1000-2500		
Распределительные устройства, щиты и токопроводы	1000-2500	Не менее 1	При измерениях полупроводниковые приборы в изделиях должны быть зашунтированы
Электропроводки, в том числе осветительные сети	1000	Не менее 0,5	Измерения сопротивления изоляции в особо опасных помещениях и наружных помещениях производятся 1 раз в год. В остальных случаях измерения производятся 1 раз в 3 года. При измерениях в силовых цепях должны быть

			приняты меры для предотвращения повреждения устройств, в особенности микроэлектронных и полупроводниковых приборов. В осветительных сетях должны быть вывинчены лампы, штепсельные розетки и выключатели присоединены
Вторичные цепи распределительных устройств, цепи питания приводов выключателей и разъединителей, цепи управления, защиты, автоматики, телемеханики и т. п.	1000-2500	Не менее 1	Измерения производятся со всеми присоединенными аппаратами (катушки, контакторы, пускатели, выключатели, реле, приборы, вторичные обмотки трансформаторов напряжения и тока)
Краны и лифты. Стационарные электроплиты	1000	Не менее 0,5	Производится не реже 1 раз в год. Производится при нагретом состоянии плиты не реже 1 раз в год
	1000	Не менее 0,5	
Шины постоянного тока и шины напряжения на щитах управления	500-1000	Не менее 10	Производится при отсоединенных цепях
Цепи управления, защиты, автоматики,	500-1000	Не менее 1	Сопротивление изоляции цепей, напряжением до 60

телемеханики, возбуждения машин постоянного тока на напряжение 500-1000 В, присоединенных к главным цепям			В, питающихся от отдельного источника, измеряются мегаомметром на напряжение 500 В и должно быть не менее 0,5 МОм
Цепи, содержащие устройства с микроэлектронными элементами, рассчитанные на напряжение, В:			
до 60	100	Не менее 0,5	
выше 60	500	Не менее 0,5	
Силовые кабельные линии	2500	Не менее 0,5	Измерение производится в течение 1 мин.
Обмотки статора синхронных электродвигателей	1000	Не менее 1	При температуре 10-30°C
Вторичные обмотки измерительных трансформаторов	1000	Не менее 1	Измерения производятся вместе с присоединенными к ним цепями

3.5. Приборы для измерения сопротивления изоляции

Для измерения сопротивления изоляции могут применяться мегаомметры ЭС0202/1Г, ЭС0202/2-Г с выходным напряжением 500, 1000, 2500 В (рис. 3.4, табл. 3.3), Ф4100 и его модификации; Ф4102/2-1М, Ф4102/1-1М электронного типа (рис. 3.5, табл. 3.4)), измерители параметров электроизоляции МІС-1 с выходным напряжением 500 В, 1000 В, 2500 В (рис. 3.6, табл. 3.6) [13, 14].



Рис. 3.4. Мегаомметр ЭС0202-Г

Питание мегаомметров ЭС0202 осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В, а также от встроенного электромеханического генератора.

Диапазоны измерений, значение напряжения на зажимах прибора и источник питания мегаомметров приведены в табл.3.3.

Таблица 3.3

Технические характеристики мегаомметров ЭС0202

Условное обозначение	Диапазон измерений, МОм	Выходное напряжение, В	Источник питания
ЭС0202/1	0-1000	100 ± 10	От сети и от генератора
ЭС0202/1-Г		250 ± 25	
		500 ± 50	От генератора
ЭС0202/2	0-10000	500 ± 50	От сети и от генератора
ЭС0202/2-Г		2500 ± 250	От генератора

Относительная погрешность измерения мегаомметрами ЭС0202/1Г, ЭС0202/2-Г равна ± 15%.



Рис. 3.5. Мегаомметр Ф4102/1-1М

Таблица 3.4

Технические характеристики мегаомметров Ф4102

Условное обозначение мегаомметра	Диапазон измерений сопротивления изоляции, не менее, МОм	Участки диапазона с пределом допускаемого значения относительной погрешности, МОм		Напряжение, В
		15%	30%	
Ф4102/1-1М	0 – 30	-	0,03 – 30	100 +/- 5
	0 - 2000		30-1000	
	0 - 150	-	0,15- 150	500 +/- 25
	0 - 10000		150- 5000	
	0 – 300	-	0,3 - 300	1000 +/- 50
	0 - 20000		300- 0000	
Ф4102/2-1М	0 – 2000	75 - 1000	-	1000 +/- 50
	0 - 20000	750 - 4000		
	0 – 5000	187,5 - 2500	-	2500 +/- 125

	0 - 50000	1875 - 10000		
--	-----------	-----------------	--	--

Порядок проведения измерений. При измерении сопротивления изоляции следует учитывать, что для присоединения мегаомметра к испытываемому объекту необходимо пользоваться гибкими проводами с изолирующими рукоятками на концах и ограничительными кольцами перед контактными щупами. Длина соединительных проводов должна быть минимальной исходя из условий проведения измерений, а сопротивление их изоляции не менее 10 МОм.

Измерения мегаомметрами типа ЭС0202 проводятся в следующей последовательности:

- проверить отсутствие напряжения на испытываемом объекте;
- очистить изоляцию от пыли и грязи вблизи присоединения мегаомметра к испытываемому объекту;
- присоединить испытываемый объект к гнездам «Г», «Х», а экран объекта к гнезду «Э»;
- переключатель диапазонов выходного напряжения установить в положение, соответствующее испытываемому объекту, а переключатель диапазонов измерений - в положение I;
- для проведения измерений вращать рукоятку генератора со скоростью 120 - 140 оборотов в минуту или держать нажатой кнопку «Сеть» при питании мегаомметра от сети до устойчивого положения стрелки прибора;
- снять показания мегаомметра и оценить погрешность измерения.

После каждого измерения необходимо снимать емкостной заряд путем кратковременного заземления частей испытываемого объекта, на которые подавалось выходное напряжение мегаомметра.

Время установления показаний не превышает 8 с.

Время заряда емкости объекта, величиной не более 0,5 мкФ не превышает 15 с.

Время установления рабочего режима не превышает 4 с.

Режим работы мегаомметра прерывистый: измерение - не более 1 мин., пауза - не менее 2 мин.

Питание мегаомметра осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В, а также от встраиваемых химических источников постоянного тока (9 элементов А373).

Мегаомметр имеет сетевую индикацию:

- включения и подачи высокого напряжения - индикатор ВН;
- контроля работоспособности химических источников тока - индикатор КП. Свечение индикатора происходит при снижении напряжения химических источников тока до 10 В.

Мегаомметр сохраняет работоспособность при температуре окружающего воздуха от минус 30°С до плюс 50°С и относительной влажности 90% при температуре плюс 30°С.

Измерения мегаомметром типа Ф4102/2-1М проводятся в следующей последовательности:

- присоединить гибкие провода к клеммам «Г_х», «-» мегаомметра.
- перед началом проведения измерения необходимо подготовить прибор к работе, т.е. выполнить калибровку шкалы прибора относительно нуля и бесконечности:

1. При разомкнутой цепи проводов нажимают кнопку «Измерение» и, удерживая, выставляют значение бесконечности.

2. При замкнутой цепи проводов нажимают кнопку «Измерение» и, удерживая, выставляют значение нуля.

После подготовки прибора можно непосредственно приступить к проведению измерения сопротивления изоляции:

- проверить отсутствие напряжения на испытываемом объекте;
- очистить изоляцию от пыли и грязи вблизи присоединения мегаомметра к испытываемому объекту;
- присоединить испытываемый объект к гнездам «-», «Г_х», а экран объекта к гнезду «Э»;
- переключатель диапазонов выходного напряжения установить в положение, соответствующее испытываемому объекту;
- для проведения измерений нажать кнопку «измерить» при питании мегаомметра от сети до устойчивого положения стрелки прибора;
- снять показания мегаомметра и оценить погрешность измерения в соответствии с методикой оценки погрешности.

Измеритель параметров электроизоляции МПС-1 - ручной цифровой прибор, предназначенный для измерения электрического сопротивления изоляции кабельных линий, силовых и измерительных трансформаторов, электродвигателей, электрогенераторов, а также для определения показателей увлажненности изоляции, например, трансформаторов по коэффициенту абсорбции.

Помимо этого измеритель может измерять напряжение, силу тока и сопротивление как обычный мультиметр.

Измеритель имеет следующие свойства:

1. Три выбора постоянного испытательного напряжения: 500В, 1000В, 2500В;
2. Автоматический выбор диапазона измерений;
3. Автоматическая разрядка емкости измеряемой изоляции по окончании измерения сопротивления изоляции;
4. Режим HOLD, позволяющий показывать результат последнего измерения;
5. Непосредственное измерение коэффициента абсорбции для двух произвольных отрезках времени, выбранных в пределах 10...600 секунд;
6. Акустическое обозначение 5-ти секундных отрезков времени, помогающих снимать временные характеристики при измерении коэффициента абсорбции;
7. Непрерывный автоконтроль зарядки аккумуляторов;
8. Автоматическое выключение питания измерителя (AUTO-OFF) при холостом ходе.

Таблица 3.6.

Технические характеристики измерителя параметров электроизоляции МПС-1

Функция измерителя	Диапазон измерений	Разрешение	Предел допускаемой погрешности
Измерение сопротивления изоляции	0...2,999МОм	0,001	$\pm (2 \% \text{ от показания} + 0,01\text{МОм})$
	3...29,99МОм	0,01	$\pm (2 \% \text{ от показания} + 0,1\text{МОм})$
	30...299,9МОм	0,1	$+ (2 \% \text{ от$

			показания + 1кОм)
	300...2999МОм	1	$\pm (2 \% \text{ от показания} + 10\text{МОм})$
	3...29,99гОм	0,01	$\pm (2 \% \text{ от показания} + 0,1 \text{ гОм})$
Испытательное напряжение при измерении сопротивления изоляции, В	500; 1000; 2500		2,5 % от номинала
Контроль сопротивления соединений, Ом	≤ 10 >10	да*) нет звука	
Время установления показаний	10 с. ..10 мин	-	-

Порядок проведения измерений: Измеряемый объект не может долго находиться под напряжением. Измеритель нужно отсоединить от объекта по окончании измерения сопротивления изоляции, т.е. отжать кнопку START.

Измерение сопротивления изоляции. Жила экранированного провода подключается к клемме – ISO (рис.3.7). Экран к клемме COM/E, либо к клемме A.

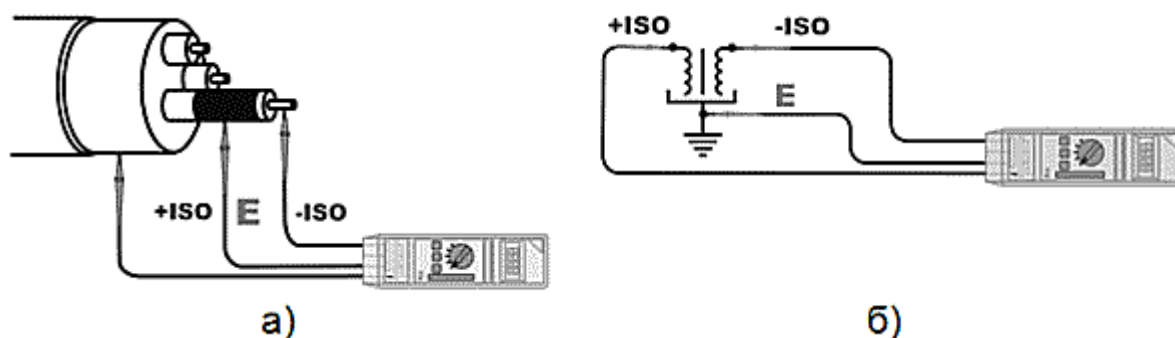


Рис 3.7. Схемы измерения сопротивления изоляции прибором MIC-1:

- а) кабелей и проводов;
- б) электрооборудования.

При измерении сопротивления изоляции на неизвестное сопротивление R_x измерителем подается испытательное напряжение 500В/1000В/2500В

постоянного тока; измеряется сила тока I_x , протекающего через сопротивление R_x ; вычисляется оценка сопротивления изоляции на основе закона Ома $R_x = U/I_x$. Значение испытательного напряжения U выбирается с помощью кнопки SEL равным 500В/1000В/2500В.

Выходной высоковольтный преобразователь ограничивает силу тока на уровне 1 мА. Ограничение величины сопротивления при измерении сопротивления изоляции составляет ($U/1\text{мА}$):

- $500 \text{ кОм} = 500\text{В}/10^{-3} \text{ А} = 500 \cdot 10^3 \text{ В/А} = 500 \cdot (10^3 \text{ Ом})$ при выборе напряжения 500 В;
- 1 МОм при выборе напряжения 1000 В;
- 2,5 МОм при выборе напряжения 2500 В.

3.6. Пример измерения сопротивления изоляции электропроводки

Измерение сопротивления изоляции между фазным и нулевым рабочим проводниками проводилось мегаомметром ЭСО202Г.

Основная относительная погрешность $\pm 15\%$, температура окружающей среды -10°C , установить прибор строго горизонтально невозможно, показания прибора - 0,6 МОм.

Относительная погрешность измерений в общем случае определяется по формуле:

$$\delta = \sqrt{\delta_0^2 + \sum \delta_i^2}, \quad (3.4)$$

где δ_0 – основная приведенная относительная инструментальная погрешность, определяемая классом точности прибора;

δ_i – относительная погрешность измерения, обусловленная i -м внешним фактором, снижающим точность измерения (температура, положение прибора, угол зрения к плоскости шкалы и другие методические погрешности).

Учесть все значения относительных погрешностей, обусловленные всеми внешними факторами, на практике затруднительно. Исходя из этого, учитывается относительная инструментальная погрешность прибора и основные погрешности, обусловленные условиями проведения измерений

$$\delta = \sqrt{\delta_0^2 + \delta_{\text{ис}}^2 + \delta_{\text{ф}}^2} \quad (3.5)$$

$$\delta = \frac{A_{np}}{A_{изм}}$$

здесь g – класс точности прибора;

A_{np} – предел измерения (длина шкалы) прибора;

$A_{изм}$ – показания прибора в единицах измерения (длины шкалы);

$\delta_{нс}$ – погрешность, обусловленная нестабильностью показаний прибора в установившемся режиме;

$$\delta_{нс} = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} \cdot 100\% \quad (3.6)$$

здесь A_{max} – максимальное значение, а A_{min} – минимальное значение измеряемой величины. В качестве измеренного значения величины в данном случае следует принимать:

$$\frac{A_{max} + A_{min}}{2} ; \quad (3.7)$$

$\delta_{гор}$ – погрешность, обусловленная отклонением прибора от горизонтального положения, учитывается при проведении измерений аналоговыми приборами, ее значение указывается в паспорте прибора.

При отсутствии этих данных в паспорте прибора, $\delta_{гор} = g$ при отклонении прибора от горизонтального положения не более чем на 30° ;

δ_{t^0} – погрешность, обусловленная температурными условиями измерений, указывается в паспорте прибора. При отсутствии этих данных в паспорте прибора δ_{t^0} составляет 0,5 g на каждые 10°C отклонения температуры от ее нормированного значения (20°C).

При использовании цифровых приборов погрешность измерений определяется выражением:

$$\delta_n \pm n,$$

где δ_n – постоянная составляющая относительной погрешности на всем диапазоне измерения,

n – количество единиц разрешающей способности прибора.

По паспортным данным прибора определяем:

$\delta_0 = \pm 15\%$; $\delta_{t0} = 0,5\delta_0$ на каждые 10°C отклонения от нормированной температуры ($+20^\circ\text{C}$); $\delta_{\text{гор}} = \delta_0$ при отклонении прибора от горизонтального положения до 30° . На основании формулы результирующая погрешность измерения составит:

$$\delta = \pm \sqrt{15^2 + 15^2 + 22,5^2} \approx 30,1\%$$

Следовательно, сопротивление изоляции в данном случае будет $0,6 \pm 0,18$ МОм.

Заключение о пригодности изоляции сделано быть не может, так как нижний предел диапазона, в котором может находиться измеренное значение сопротивления изоляции, не удовлетворяет нормативным требованиям ($30,5$ МОм).

Результаты измерений оформляются протоколами, формы которых прилагаются.

Порядок выполнения работы

1. На лабораторном стенде, указанном преподавателем произвести проверку сопротивления изоляции провода, кабеля, электрооборудования, прибором, указанным преподавателем.

2. Произвести расчет погрешности измерений сопротивления изоляции.

3. Занести полученные данные в протоколы измерений формы, которых прилагаются.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.

2. Схемы измерений сопротивления изоляции проводов, кабелей и силового электрооборудования.

3. Расчет погрешности полученных результатов измерений.

4. Протоколы проверки сопротивлений изоляции.

(см. протокол проверки сопротивления изоляции проводов, кабелей и обмоток электрических машин)

(см. протокол проверки сопротивления изоляции электрических аппаратов)

1. Чему должно быть равно сопротивление исправного соединения при проверке сопротивления цепи между заземляющим устройством и заземленными частями электроустановки?
2. Чему должно быть равно сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль трансформатора напряжением 0,4 кВ?
3. Чему должно быть равно сопротивление повторного заземлителя нулевого провода опоры ВЛ 0,38 кВ?
4. Что может быть использовано в качестве потенциального и токового электродов при измерении сопротивления заземлителя прибором М 416?
5. Поясните компенсационный принцип измерения сопротивления заземлителя прибором М 416.
6. Как измерить сопротивление заземлителя прибором М 416, если его сопротивление составляет 3,8 Ом?
7. Определите удельное сопротивление грунта, замеренное прибором М 416, если расстояние между электродами была равно 5 м, а сопротивление, измеренное прибором, равнялось 10 Ом.
8. Что понимается под заземляющим устройством?
9. С какой погрешностью проводятся измерения сопротивления заземления прибором М 416 в диапазоне от 50 до 70 Ом?
10. Как определить качество металлической связи нулевого защитного проводника схемы, содержащей силовой распределительный шкаф, распределительное устройство РУС управления электродвигателем и электродвигатель?

Контрольные вопросы:

1. Укажите нормы и сроки проведения измерения сопротивления изоляции электропроводки, в том числе осветительных сетей.
2. Перечислите организационные мероприятия при проведении испытания электроустановок.
3. Расскажите, как производится измерение сопротивления изоляции силового электрооборудования?
4. Укажите причины старения, ухудшения сопротивления изоляции.
5. Как осуществляется определение увлажненности изоляции по коэффициенту абсорбции?
6. Как осуществляется определение увлажненности изоляции способом "емкость - частота"?
7. Как осуществляется определение местных дефектов изоляции по току сквозной проводимости?
8. Как осуществляется определение износа изоляции по значению диэлектрических потерь?

9. Как учитывают температуру окружающей среды при измерении сопротивления изоляции?
10. Как осуществляется измерение сопротивления изоляции силовых кабелей и электропроводок?

Лабораторно-практическая работа

Тема: Проверка соответствия смонтированной электроустановки требованиям нормативной и проектной документации.

Цель работы:

Задания к работе
Методические материалы
Порядок выполнения работы
Содержание отчета

Цель работы

Изучить порядок и правила проведения приемо-сдаточных испытаний электроустановок зданий и испытаний электроустановок зданий для целей сертификации.

Задания к работе

1. Изучить объекты и программы приемо-сдаточных испытаний электроустановок зданий и испытаний электроустановок зданий для целей сертификации.
2. Составить программы проведения приемо-сдаточных испытаний электроустановок здания усадебного дома (коровника, телятника, свинарника и т.д.) и испытаний электроустановок зданий для целей сертификации, в

соответствии с заданием преподавателя.

Целью проверки является оценка качества выполненных электромонтажных работ и соответствие смонтированной электроустановки здания требованиям нормативной и проектной документации.

Объектами проверки являются полностью смонтированные электроустановки зданий, их соответствие утвержденному проекту, требованиям нормативных документов (НД) и качество электромонтажных работ (ЭМР).

Проверке подлежат:

1. Система молниезащиты и заземляющие устройства.
2. Распределительные устройства и щитовые помещения.
3. Устройства автоматического включения резервного питания.
4. Вторичные цепи схем защиты, автоматики, управления, сигнализации и измерения.
5. Приборы учета электроэнергии и измерительные трансформаторы.
6. Аппараты защиты.
7. Электропроводки и кабельные линии.
8. Маркировка, надписи.
9. Рекламное и внутреннее освещение.
10. Приемо-сдаточная документация.

Проверка производится в соответствии с программой испытаний.

Программы сертификационных и приемосдаточных испытаний прилагаются, программу профилактических испытаний определяет технический руководитель или ответственный за электрохозяйство организации.

Порядок проведения проверки. Оценка уровня качества ЭМР и соответствия их требованиям НД проводятся на

полностью смонтированной электроустановке здания (объекта).

Проверка производится в соответствии с согласованным и утвержденным комплектом приемо-сдаточной документации, в который согласно ВСН 193-90 входит проектная документация, документация заводов-изготовителей электрооборудования, сертификаты на электротехнические изделия.

Электромонтажные работы должны быть выполнены организацией, имеющей лицензию на их выполнение, в соответствии с утвержденным проектом. Отступления от проекта должны быть документально согласованы с проектной организацией и территориальным органом Ростехнадзора.

Характеристики электрооборудования не должны ухудшаться в процессе электромонтажных работ.

Идентификация электроустановки здания, ее комплектующих, установочных изделий проводится визуально путем сравнения установленных типов электрооборудования (комплектующих, установочных) с проектом, технической документацией завода-изготовителя, сертификатами на электрооборудование.

Таблица 1.1

Программа приемо-сдаточных испытаний электроустановки здания

№	Объект,	Вид	Измеряемые	Нормати	Значения	Методика	Примечание
---	---------	-----	------------	---------	----------	----------	------------

п/п	подвергаемый испытанию (проверке)	испытаний (проверок)	(проверяемые) параметры, характери- стики, документация	в-ные документы (НД)	измеряемых (проверяемых) параметров по проекту, НД, данным изготовителя	испытаний (проверки), измерений	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Электроустанов- ка	Проверка соответствия смонтиро- ванной электро- установки и технологии выполнения электро- монтажных работ проекту и нормативной документации	Наличие лицензии монтажной организации, документации изготовителей на комплектующие и установочные изделия, сертификатов на электро- оборудование; технические характеристики оборудования, указанные изготовителем,	ПУЭ [2], ГОСТ P50571.1- 27- 1993- 2003 гг. ГОСТ P51732-01, P51628-00, P51326-99, P51327-99, P50030.2- 99, P50345- 99, 7746- 01, 7396- 89, 10434- 82, СНиП 3.05.06-85, РД 34-	В соответствии с документацией, указанной в кол. 4; 5	Проверка производится:	Отступления от проектных решений должны быть согласованы с проектной организацией. Демонтаж электро- установки и ее комплек- тующих сотрудниками ИЛЭЗ на всех этапах и видах испытаний не допускается

			качество монтажа	21.122-87, Пр. Минэнерго от 30.06.03 №280, ВСН 123-90			
2	ВРУ, РУ, распределительные, групповые сети	Измерение сопротивления изоляции, проверка электрической прочности	Сопротивление изоляции	ПУЭ [2]	1. Для внутренних цепей ВРУ, РУ - не менее 1 МОм;	1. Измеряется мегаомметром на 2500 В с отключенными счетчиками ЭЭ в течение 1 минуты*	Если измеренное по пп. 1, 2 кол. 6 сопротивление изоляции меньше указанного в кол. 6, её испытание напряжением 1кВ, 50Гц является обязательным. Если при внешнем осмотре выявлены повреждения, деформация

							<p>изоляции или несоответствие её состояния требованиям НД и изготовителя, независимо от результатов испытаний, такое оборудование подлежит замене</p>
3	<p>Аппараты защиты и защитные проводники</p>	<p>Проверка надёжности срабатывания аппаратов защиты при системе питания TN и непрерывности защитных проводников</p>	<p>Ток короткого замыкания или сопротивление петли фаза-нуль</p>	<p>ГОСТ Р5057 1.1 6-99 (пп. 612.6; Е612.2); ПУЭ</p>	<p>При замыкании фазного проводника на корпус или РЕ проводник должен возникнуть ток, вызывающий отключение питания за нормированное</p>	<p>Проверяется путём непосредственного измерения тока короткого замыкания или полного сопротивления петли фаза-нуль с последующим</p>	<p>Непрерывность проводников систем уравнивания потенциалов при невозможности измерения параметров цепи «фаза-нуль»</p>

					<p>время: для групповых сетей и отдельных инженерных электроприёмников менее 0,4 с; для распределительных сетей менее 5 с. Удовлетворительные результаты испытаний свидетельствуют о непрерывности защитных проводников</p>	<p>расчётом тока КЗ на электроприёмниках, конечных устройствах и определением времени отключения по времятоковым характеристикам аппаратов защиты</p>	<p>проверяется в соответствии с п. 1.8.39.2 ПУЭ [2]</p>
4	<p>Устройство защитного отключения (УЗО)</p>	<p>Проверка расцепителя дифференциального тока</p>	<p>Дифференциальный отключающий ток (I_{Dn})</p>	<p>ГОСТ Р51326-99, ГОСТ Р51327-99</p>	<p>Отключающий дифференциальный ток (I_{Dn}) должен находиться в</p>	<p>Проверяется несрабатывание расцепителя при $I_D = 0,5 I_{Dn}$ и срабатывание</p>	<p>Дополнительно к измерениям проверяется нажатием</p>

					пределах $0,5I_{Dn}$ – I_{Dn}	расцепителя при $I_D = I_{Dn}$	кнопки «Тест»
5	Заземляющие устройства и система молниезащиты	Проверка состояния заземляющего устройства и акта освидетель- ствования скрытых работ	Сопротивление заземляющего устройства	ПУЭ [2] (п.1.7.61); РД 34- 21.122-87	При отсоеди- ненной глухо- заземленной нейтрали питающей сети не нормируется. При присоеди- ненной глухо- заземленной нейтрали питающей сети – не более 4 Ом	Измеряется по одно- или двух- лучевой схеме согласно указаниям изготовителя прибора	Привязанная к местности схема измерения прилагается к протоколу испытаний
6	Автоматические выключатели (АВ)	Проверка расцепителей перегрузки и короткого замыкания	Токи и время срабатывания расцепителей короткого замыкания и перегрузки	ПУЭ [2]	Ток срабатывания расцепителя короткого замыкания должен находиться в пределах диапазона токов	Проверяется несрабатывание расцепителя короткого замыкания при подаче импульса испытат. тока, равного нижнему	Проверяется срабатывание расцепителей короткого замыкания всех вводных, секционных и питающих потребители 1 категории

					<p>мгновенного расцепления, время его срабатывания не более 0,1с для АВ бытового и аналогичного назначения и не более 0,2с для остальных АВ. Ток и время срабатывания расцепителя перегрузки должны соответствовать его время-токовой характеристике.</p>	<p>пределу диапазона токов мгновенного расцепления и длительностью 0,1 с (0,2 с) и его срабатывание при импульсе тока равного верхнему пределу диапазона токов мгновенного расцепления той же длительности. Расцепитель перегрузки проверяется путём измерения времени</p>	<p>аппаратов защиты. Из остальных – не менее 2% выключателей групповых и распределительных сетей. По решению заказчика объем проверки расцепителей может быть увеличен, включая расцепители перегрузки.</p>
--	--	--	--	--	---	--	---

						срабатывания АВ при испытательном токе меньше нижнего предела диапазона токов мгновенного расцепления и его сравнения с определённым по время-токовой характеристике данного АВ.	
7	Измерительные трансформаторы тока до 1000 В	Проверка соответствия коэффициента трансформации и характеристики намагничивания	Коэффициент трансформации, характеристика намагничивания, сопротивление изоляции вторичной обмотки	ГОСТ 7746-2001; ПУЭ [2]	Отклонение измеренного коэффициента трансформации от паспортного не должно превышать 2%, характеристики намагни-	Проводится путём измерения токов или напряжений на первичной и вторичной обмотках с последующим	Измерения проводятся в 3-х контрольных точках: при 5, 20, 120 процентных значениях номинального

		данным изготовителя			чивания – 10%, сопротивление изоляции не менее 1 МОм	вычислением коэффициента трансфор- мации; характеристика намагни- чивания определяется измерением падения напряжения на вторичной обмотке в зависимости от величины тока в ней; сопротивление изоляции измеряется мегаомметром при напряжении 1000 В	тока
--	--	------------------------	--	--	---	--	------

Таблица 1.2

Программа испытания электроустановки здания для целей сертификации

№ п/п	Объект, подверга- емый испытанию (проверке)	Вид испытаний (проверок)	Измеряемые (проверяемые) параметры, характери- стики, документация	Норма- тивные документы (НД)	Значения измеряемых (проверяемых) параметров по проекту, НД, данным изготовителя	Методика испытаний (проверки), измерений	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Электро- установка	Проверка соответствия смонтиро- ванной электро- установки и технологии выполнения электро- монтажных работ проекту и нормативной документации	Наличие лицензии монтажной организации, документации изготовителей на комплектующие и установочные изделия, сертификатов на электро- оборудование;	ПУЭ [2], ГОСТ P50571.1- 27- 1993- 2003 гг. ГОСТ P51732-01, P51628-00, P51326-99, P5 1327-99, P50030.2- 99, P50345- 99, 7746-	В соответствии с документацией, указанной в кол. 4; 5	Проверка производится: – внешним осмотром и сравнением комплек- тующих и установочных изделий, кабельной продукции, их технических характеристик,	Отступления от проектных решений должны быть согласованы с проектной организацией. Демонтаж электро- установки и ее комплек- тующих сотрудниками

			технические характеристики оборудования, указанные изготовителем, качество монтажа	01, 7396-89, 10434-82, СНиП 3.05.06-85, РД 34-21.122-87, Пр. Минэнерго от 30.06.03 №280, ВСН 123-90		технологии монтажа, установки и расположения оборудования с проектом и требованиями нормативных документов;	ИЛЭЗ на всех этапах и видах испытаний не допускается
2	ВРУ, РУ,	Измерение сопротивления изоляции, проверка электрической прочности	Сопротивление изоляции	ПУЭ [2] (пп. 1.8.11; 1.8.37.1) ГОСТ Р50571.16-99	1.Для внутренних цепей ВРУ. РУ - не менее 1 МОм;	1 . Измеряется мегаомметром на 2500 В с отключенными счетчиками ЭЭ в течение 1 минуты*	Если измеренное по пп. 1, 2 кол. 6 сопротивление изоляции меньше указанного в кол. 6, её испытание напряжением 1 кВ, 50 Гц является обязательным. Если при внешнем

							осмотре выявлены повреждения, деформация изоляции или несоответствие её состояния требованиям НД и изготовителя, независимо от результатов испытаний, такое оборудование подлежит замене
3	Аппараты защиты и защитные проводники	Проверка надёжности срабатывания аппаратов защиты при системе питания TN и непрерывности	Ток короткого замыкания или сопротивление петли фаза-нуль	ГОСТ Р50571.16-99 (пп. 612.6; Е612.2); ПУЭ (пп. 1.8.39.2; 1.7.79)	При замыкании фазного проводника на корпус или РЕ проводник должен возникнуть ток,	Проверяется путём непосредственного измерения тока короткого замыкания или полного	Непрерывность проводников систем уравнивания потенциалов при невозможности

		защитных проводников			вызывающий отключение питания за нормированное время: для групповых сетей и отдельных инженерных электро- приёмников менее 0,4 с; для распреди- тельных сетей менее 5 с. Удовлетвори- тельные результаты испытаний свидетель- ствуют о непрерывности защитных проводников	сопротивления петли фаза- нуль с последующим расчётом тока КЗ на электро- приёмниках, оконечных устройствах и определением времени отключения по время-токовым характери- стикам аппаратов защиты	измерения параметров цепи «фаза- нуль» проверяется в соответствии с п. 1.8.39.2 ПУЭ
4	Устройство	Проверка	Дифферен-	ГОСТ	Отключающи	Проверяется	Дополни-

	защитного отключения (УЗО)	расцепителя дифференциального тока	циальный отключающий ток (I_{Dn})		й дифференциальный ток (I_{Dn}) должен находиться в пределах $0,5 I_{Dn}$ - I_{Dn}	несрабатывание расцепителя при $I_D=0,5 I_{Dn}$ и срабатывание расцепителя при $I_D=1 I_{Dn}$	тельно к измерениям проверяется нажатием кнопки «Тест»
5	Заземляющие устройства и система молниезащиты	Проверка состояния заземляющего устройства и акта освидетельствования скрытых работ	Сопротивление заземляющего устройства	ПУЭ [2]	При отсоединенной глухо-заземленной нейтрали питающей сети не нормируется. При подсоединенной глухо-заземленной нейтрали питающей сети – не более 4 Ом	Измеряется по одно- или двух-лучевой схеме согласно указаниям изготовителя прибора	Привязанная к местности схема измерения прилагается к протоколу испытаний
6	Автоматические выключатели (АВ)	Проверка расцепителей перегрузки и короткого замыкания	Токи и время срабатывания расцепителей короткого замыкания и перегрузки	ПУЭ (п. 1.8.37.3); ГОСТ Р50345-99, ГОСТ Р50030.2-	Ток срабатывания рас-цепителя короткого замыкания должен	Проверяется несрабатывание расцепителя короткого замыкания при подаче	Проверяются все вводные, секционные и питающие потребители 1 категории

				99	<p>находиться в пределах диапазона токов мгновенного расцепления, время его срабатывания не более 0,1 с для АВ бытового и аналогичного назначения и не более 0,2 с для остальных АВ. Ток и время срабатывания расцепителя перегрузки должны соответствовать его время-токовой характеристике</p>	<p>импульса испытат. тока, равного нижнему пределу диапазона токов мгновенного расцепления и длительностью 0,1 с (0,2 с) и его срабатывание при импульсе тока равного верхнему пределу диапазона токов мгновенного расцепления той же длительности. Расцепитель перегрузки</p>	<p>электро-снабжения АВ. Остальные – из расчета не менее 30% всех проверенных АВ из которых 15 % питающие наиболее удалённые от ВРУ помещения. При несрабатывании 10 % проверяемых АВ производится проверка срабатывания всех 100% АВ</p>
--	--	--	--	----	--	--	---

						<p>проверяется путём измерения времени срабатывания АВ при испытательном токе меньше нижнего предела диапазона токов мгновенного расцепления и его сравнения с определённым по время-токовой характеристике данного АВ</p>	
7	Измерительные трансформаторы тока до 1000В	Проверка соответствия коэффициента трансформации и	Коэффициент трансформации, характеристика намагничивания,	ГОСТ 7746-2001; ПУЭ [2]	Отклонение измеренного коэффициента трансформации от паспортного	Проводится путём измерения токов или напряжений на	Измерения проводятся в 3-х контрольных точках: при 5,

		характеристики намагничивания данным изготовителем	сопротивление изоляции вторичной обмотки		не должно превышать 2 %, характеристики намагничивания – 10 %, сопротивление изоляции не менее 1 МОм	первичной и вторичной обмотках с последующим вычислением коэффициента трансформации; характеристика намагничивания определяется измерением падения напряжения на вторичной обмотке в зависимости от величины тока в ней; сопротивление изоляции измеряется мегаомметром при	20, 120 процентных значениях номинального тока
--	--	--	--	--	--	---	--

						напряжении 1000В	
8	Электро- установочные изделия	Проверка качества крепления крюков для подвешивания светильников и розеток	Усилие, прикладываемое к приспособ- лениям для подвешивания светильников и розеткам	ПУЭ [2]	Приспособ- ления для подвешивания светильников должны выдерживать в течение 10 минут усилие 500 Н (50 кг), для подвешива- ния люстр массой 25 кг и более – 2-х кратный вес люстры плюс 800 Н (80 кг). Розетки должны выдерживать усилие «на отрыв» 180 Н (18 кг) в течение 10	Испытания проводятся с использо- ванием динамометра и опорного кронштейна путём создания нормированных усилий винтовым приводом	Испытания качества крепления розеток, которые расположены внутри стеновых панелей, а также наружных конусо- образной формы, допускается проводить внешним осмотром и проверкой отсутствия люфта в горизон- тальной и

					минут. По окончании времени приложения усилий не должно быть повреждений и деформаций		вертикальной плоскостях
9	Система АВР	Проверка работоспособности	Способность автоматически переключать питание с одного ввода на другой при исчезновении напряжения на одном из них	ПУЭ [2]	Время срабатывания АВР, указанное изготовителем должно соответствовать согласованному с энерго-снабжающей организацией	Проверка работоспособности проводится путём поочередного отключения вводов на панели АВР во ВРУ	

* данным испытаниям подвергается только оборудование, которое изготовлено или модернизировано на месте установки.

Идентификация технологии выполнения ЭМР проводится путем визуального сравнения образца с технологической картой пооперационного выполнения работы.

При идентификации сечений токоведущих частей, заземляющих и защитных проводников применяются инструментальные методы измерений с последующим расчетом их сечений.

При идентификации контактных соединений, проверке подлежат до трех процентов соединений, но не менее десяти.

Порядок выполнения работы

1. Изучите программы приемо-сдаточных испытаний электроустановок знаний и испытаний электроустановок зданий для целей сертификации, таблицы 1.1 – 1.2.
2. Изучите питающую, распределительную и осветительную сети усадебного дома (коттеджа, коровника, телятника, свинарника и т.д.) по электротехнической части проекта объекта испытаний, в соответствии с заданием преподавателя.
3. Разработайте программу приемо-сдаточных испытаний электроустановок зданий и испытаний электроустановок зданий для целей сертификации, на основе таблиц 1.1 – 1.2, для электроустановок заданного объекта.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Заполненная таблица с программой приемо-сдаточных испытаний электроустановки заданного объекта.
3. Заполненная таблица с программой испытаний электроустановки заданного объекта для целей сертификации.

Контрольные вопросы к работе

1. В чем отличия программы приемо-сдаточных испытаний электроустановок зданий от испытаний электроустановок зданий для целей сертификации?
2. Что проверяется при приемосдаточных испытаниях электроустановки в целом?
3. Что проверяется при приемосдаточных испытаниях ВРУ?
4. Что проверяется при приемосдаточных испытаниях аппаратов защиты и защитных проводников?
5. Что измеряется при проверке УЗО, во время проведения приемосдаточных испытаний?
6. Что измеряется при проверке заземляющего устройства, во время проведения приемосдаточных испытаний?
7. Какие автоматические выключатели обязательно подвергаются испытаниям при проведении испытаний для целей сертификации?
8. Какие параметры проверяются при проведении испытаний для целей сертификации измерительных трансформаторов тока?
9. Какие параметры проверяются при проведении испытаний для целей сертификации электроустановочных изделий?
10. Что проверяется при проведении испытаний для целей сертификации АВР?

Лабораторно-практическая работа

тема: Измерение сопротивления заземляющих устройств и заземлителей

Цель работы:

Задания к работе

Общие сведения

2.1. Измерение сопротивления заземлителей

2.1.1. Общие требования к проведению измерений

2.1.2. Измерение сопротивления заземляющих устройств прибором М416

2.1.3. Измерение сопротивления заземляющих устройств прибором Ф4103-М1

2.1.4. Измерение сопротивления заземляющих устройств приборами MRU-100 и MRU-101

2.2.1. Измерение удельного сопротивления грунта

2.2.2. Измерение удельного сопротивления грунта приборами MRU-100 и MRU-101

2.3. Проверка наличия цепи между заземляющим устройством и заземленными частями электроустановки (непрерывности защитных проводников)

2.3.1. Проверка наличия цепи между заземляющим устройством и заземленными частями электроустановки при помощи Р-333

2.4. Оформление результатов измерений

Порядок выполнения работы

Содержание отчета

Цель работы

Изучить порядок и правила проведения измерений сопротивления заземляющих устройств и заземлителей.

Получить практические навыки измерения сопротивления заземлителей и заземляющих устройств, удельного сопротивления грунта и сопротивления контрольных соединений заземляющих устройств.

Задания к работе

1. Изучить объемы и сроки испытаний заземляющих устройств.
2. Изучить методики проведения измерений сопротивления заземляющих устройств, удельного сопротивления грунта и проверки непрерывности защитных проводников различными измерительными приборами.
3. Провести измерения сопротивления заземлителей и заземляющих устройств приборами М416, Ф4103-М1, MRU-100 и MRU-101.
4. Провести измерения удельного сопротивления грунта приборами М416, MRU-100 и MRU-101.
5. Провести проверку цепи (металлической связи) между защитными проводниками и проводящими частями электроустановки путем измерения контактных соединений прибором Р-333.
6. Заполнить протоколы проверки сопротивлений заземлителей и заземляющих устройств и проверки наличия цепи между заземляющим устройством и заземленными частями электроустановки.

Общие сведения

Измерение сопротивления заземляющих устройств проводится с целью проверки его соответствия требованиям нормативных документов (ПУЭ гл. 1.8. [2]; ПТЭЭП пр. 3; 3.1 [3]).

Организационные мероприятия при проведении испытаний электроустановок. Работы по измерению сопротивления заземляющих устройств выполняются по наряду-допуску или по распоряжению.

Численный состав бригады должен быть не менее двух человек: производителя работ с группой по электробезопасности не ниже IV и члена бригады с группой по электробезопасности не ниже III при измерениях в действующих распределительных устройствах (РУ) напряжением выше 1000 В или производителя работ с III группой по электробезопасности и члена бригады со II группой по электробезопасности при измерениях в РУ напряжением до 1000 В, а также до подключения электроустановок к сети электроснабжения.

Технические мероприятия при проведении испытаний электроустановок. Перечень необходимых технических мероприятий определяет допускающий совместно с производителем работ в соответствии с разделом 3 МПБЭЭ [4].

Особое внимание необходимо обратить на принятие мер, исключающих однофазные замыкания в действующих распределительных устройствах во время проведения измерений.

Бригада, проводящая измерения, должна работать в диэлектрических ботах, диэлектрических перчатках, пользоваться изолированным инструментом.

При сборке измерительных схем провода, в первую очередь, присоединять к вспомогательным электродам (токовым, потенциальным), затем к соответствующему прибору и после этого к заземляющему устройству (заземлителю).

Нормируемые величины. В электроустановках с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генераторов и трансформаторов или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. Сопротивление заземляющих устройств повторных заземлений на вводах в здания не нормируется. При удельном сопротивлении земли (ρ) более 100 Ом·м допускается увеличение указанных выше норм в 0,01 раз, но не более десятикратного (п. 1.7.101 ПУЭ).

В электроустановках с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В сопротивление заземляющего устройства, используемого в качестве защитного заземления, должно удовлетворять условию:

$$R_{\text{зз}} I_{\text{з}} \leq 50 \text{ В},$$

где $R_{\text{зз}}$ – сопротивление заземляющего устройства, Ом;

$I_{\text{з}}$ – полный ток замыкания на землю, А.

При мощности генераторов и трансформаторов 100 кВА и меньше заземляющие устройства могут иметь сопротивление не более 10 Ом (п. 1.7.104 ПУЭ).

При испытаниях заземляющих устройств требования, предъявляемые к ним, представлены в таблицах 2.1, 2.2, 2.3.

2.1. Измерение сопротивления заземлителей

2.1.1. Общие требования к проведению измерений

Для измерения сопротивления заземлителей создается искусственная цепь протекания тока через испытываемый заземлитель.

Для этого на некотором расстоянии от испытываемого заземлителя располагается вспомогательный заземлитель (токовый электрод), подключаемый вместе с испытываемым заземлителем к источнику напряжения.

Для измерения падения напряжения на испытываемом заземлителе при прохождении через него тока в зоне нулевого потенциала располагается зонд (потенциальный электрод).

В качестве вспомогательного заземлителя и зонда могут применяться стальные неокрашенные электроды диаметром 12 – 20 мм длиной 0,8 – 1 м с болтами и барашковыми гайками для присоединения проводов.

Объем и сроки испытания заземляющих устройств («К, Т, М» проводятся в сроки, устанавливаемые системой ППР)

Наименование испытания	Вид испытаний	Нормы испытания	Указания
1	2	3	4
1. Проверка соединений заземлителей с заземляемыми элементами, в том числе с естественными заземлителями	К, М	Проверка производится для выявления обрывов и других дефектов путем осмотра, простукивания молотком и измерения переходных сопротивлений. Проверка соединения с естественными заземлителями производится после	В случае измерения переходных сопротивлений следует учитывать, что сопротивление исправного соединения не превышает 0,05 Ом. У кранов проверка наличия цепи должна производиться не реже 1 раза в год

		ремонта заземлителей	
2. Проверка напряжения прикосновения на территории электроустановки и напряжения на заземляющем устройстве	К, М	Наибольшее напряжение не должно превышать: – 500 В при длительности воздействия 0,1 сек;	Производится в электроустановках, выполненным по нормам на напряжение прикосновения в контрольных точках, в которых значение напряжения определены при проектировании, после капитального ремонта заземлителей.
	М	Промежуточные допустимые напряжения в интервале времени от 0,1 сек до 1 сек следует определять интерполяцией	За длительность воздействия принимается суммарное время действия резервной релейной защиты и собственного времени отключения выключателей
3. Проверка состояния элементов заземляющего устройства, находящихся в земле:	К, Т, М	Проверка коррозионного состояния проводится не реже 1 раза в 12 лет. Элемент заземлителя должен быть заменен, если разрушено более 50% его сечения. Проверка заземлителей в ОРУ электростанций и подстанций производится выборочно, в местах, наиболее подверженных коррозии и вблизи мест заземления нейтралей	В ЗРУ осмотр элементов заземлителей производится по решению технического руководителя Потребителя

		силовых трансформаторов, присоединений разрядников и ограничителей перенапряжений	
2) ВЛ	к, т, м	На ВЛ выборочная проверка со вскрытием грунта производится не менее чем у 2 % опор от общего числа опор с заземлителями	Проверку следует производить в населенной местности, на участках с наиболее агрессивными выдуваемыми и плохопроводящими грунтами
4. Измерение сопротивлений заземляющих устройств:	к, т, м	Значения сопротивлений заземлителей опор приведены в таблице 2.3	<p>Производится после ремонтов, но не реже 1 раза в 6 лет для ВЛ напряжением до 1000 В на опорах с разрядниками и другим электрооборудованием и выборочно у 2 % металлических и железобетонных опор на участках в населенной местности. Измерения производятся также после реконструкции и ремонта заземляющих устройств, а также при обнаружении разрушения или следов перекрытия изоляторов электрической дугой</p>
2) электроустановок, кроме ВЛ электропередачи		Значения сопротивлений заземляющих устройств приведены в табл. 2.2	
5. Проверка состояния пробивных предохранителей в	К, Т	Предохранители должны быть исправными и соответствовать номинальному напряжению сети	Производится не реже 1 раза в 6 лет, а также при предположении о срабатывании

установках напряжением до 1000 В			
-------------------------------------	--	--	--

Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств электроустановок

Характеристика объекта	Удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м	Сопротивление, Ом
Электроустановки напряжением 110 кВ и выше сетей с эффективным заземлением нейтрали, выполненные по нормам на сопротивление	до 500	0,5
	более 500	$0,002 \cdot 0,5 \cdot \rho$
Электроустановки 3-35 кВ и выше сетей с изолированной нейтралью	до 500	$250/\rho^*$, но не более 10 Ом
	более 500	$0,002 \cdot 250\rho$
Электроустановки напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью, напряжением:	до 100 (более 100)	
660/380 В		$15^{**} (15 \cdot 0,01\rho)$
380/220 В		$30^{**} (30 \cdot 0,01\rho)$
220/127 В		$60^{**} (60 \cdot 0,01\rho)$
Электроустановки напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью, при мощности источника питания:		
более 100 кВА	до 500	$50/\rho^*$, но не более 40 Ом

до 100 кВА	более 500	$50/I_p^*$, но не более 10 Ом
------------	-----------	--------------------------------

* I_p – расчетный ток замыкания на землю, А.

** – сопротивление заземляющего устройства с учетом повторных заземлений нулевого провода должно быть не более 2, 4 и 8 Ом при линейных напряжениях соответственно 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока и напряжениях 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Таблица 2.3

Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземлителей опор воздушных линий электропередачи

Характеристика объекта	Удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м	Сопротивление, Ом
1	2	3
Линии на напряжение выше 1000 В		
Опоры, имеющие грозозащитный трос или другие устройства грозозащиты, металлические и железобетонные опоры ВЛ 35 кВ и такие же опоры ВЛ 3-20 кВ в населенной местности, заземлители оборудования на опорах 110 кВ и выше	до 100	10*
	более 100 до 500	15*
	более 500 до 500	20*
	более 100 до 500	30*
	более 100 до 500	$0,006\rho^*$
Электрооборудование, установленное на опорах ВЛ 3-35 кВ	–	$250/I_p^{**}$, но не

		более 10
Металлические и железобетонные опоры ВЛ 3-20 кВ в населенной местности	до 100	30
	более 100	0,3r
Трубчатые разрядники на подходах линий к подстанциям с вращающимися машинами, вентильные разрядники на кабельных вставках подходов к подстанциям с вращающимися машинами	—	5
Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений на подходах линий к подстанциям с вращающимися машинами	—	3
Опоры с тросом на подходах линий к подстанциям с вращающимися машинами	—	10
Линии на напряжение до 1000 В***		
Опоры ВЛ с устройствами грозозащиты	—	10
Опоры с повторными заземлителями нулевого провода с источниками питания:	—	
660/380 В		15
380/220 В		30
220/127 В		60

* Для опор высотой более 40 м на участках ВЛ, защищенных тросом, сопротивление заземлителей должно быть в 2 раза меньше указанных в таблице.

** I_p – расчетный ток замыкания на землю, в качестве которого принимается:

в сетях без компенсации емкостного тока замыкания на землю – ток замыкания на землю;

в сетях с компенсацией емкостного тока замыкания на землю:

- для электроустановок, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, – ток, равный 12% номинального тока наиболее мощного из этих аппаратов;
- для электроустановок, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, – ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов;

*** При удельном эквивалентном сопротивлении грунта более 100 Ом допускается увеличение приведенных значений в 0,01 раз, но не более десятикратного.

Точность измерения сопротивления заземлителей зависит от взаимного расположения испытываемого и вспомогательного заземлителей, а также от расстояния между ними.

Схемы расположения электродов вспомогательного заземлителя и зонда, относительно испытываемого заземлителя показаны на рис. 2.1, 2.2 (для сложных заземлителей) и рис. 2.3 (для одиночных заземлителей).

Для заземлителей, состоящих из вертикальных электродов, расположенных в ряд и объединенных горизонтальной полосой, в качестве размера «D» следует принимать длину полосы.

Размер «а» следует принимать в зависимости от размера «D», исходя из следующих соотношений:

D (м)	> 40	$10 < D < 40$	< 10
a (м)	$\sqrt[3]{D}$	$\sqrt[3]{40}$	$\sqrt[3]{20}$

При измерении сопротивления одиночных вертикальных заземлителей длиной до 6 метров следует применять схемы

расположения электродов, изображенные на рис. 2.3, с указанными между ними расстояниями.

Для заземлителей длиной свыше 6 метров расстояние между электродами следует принимать не менее $3L$, где L – длина вертикального заземлителя.

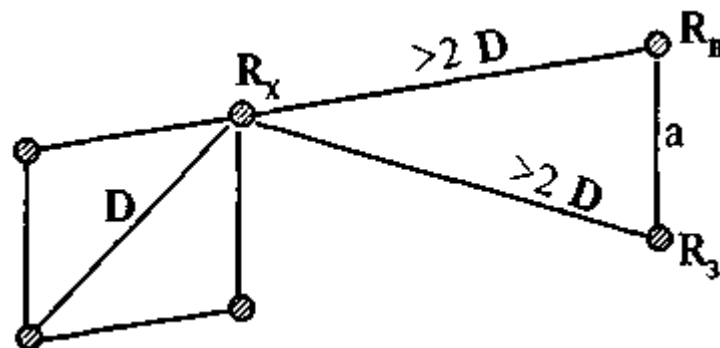


Рис. 2.1. Схемы расположения электродов при измерении сложных заземлителей (двухлучевая схема)

Относительная погрешность измерения, обусловленная уменьшенными расстояниями между электродами при измерениях по схемам, приведенным на рис. 2.3, не превышает 5%. Направление разноса электродов нужно выбирать таким образом, чтобы электроды не оказались ближе 10 м от подземных металлических конструкций (кабели, трубопроводы, заземлители опор ВЛ и т. п.). В некоторых случаях при наличии большого количества подземных коммуникаций может потребоваться несколько измерений при различных направлениях лучей и различных расстояниях «а» и «D». Из нескольких измеренных значений в качестве действительного значения принимают наихудший результат.

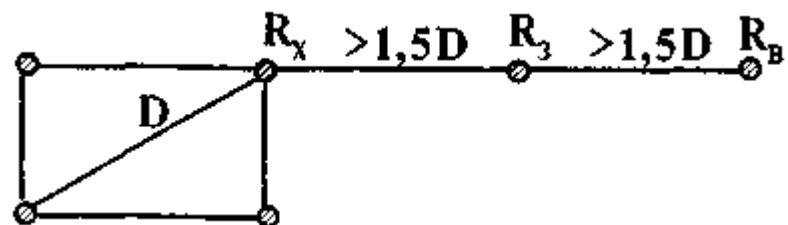


Рис. 2.2. Схемы расположения электродов при измерении сложных заземлителей (однолучевая схема)

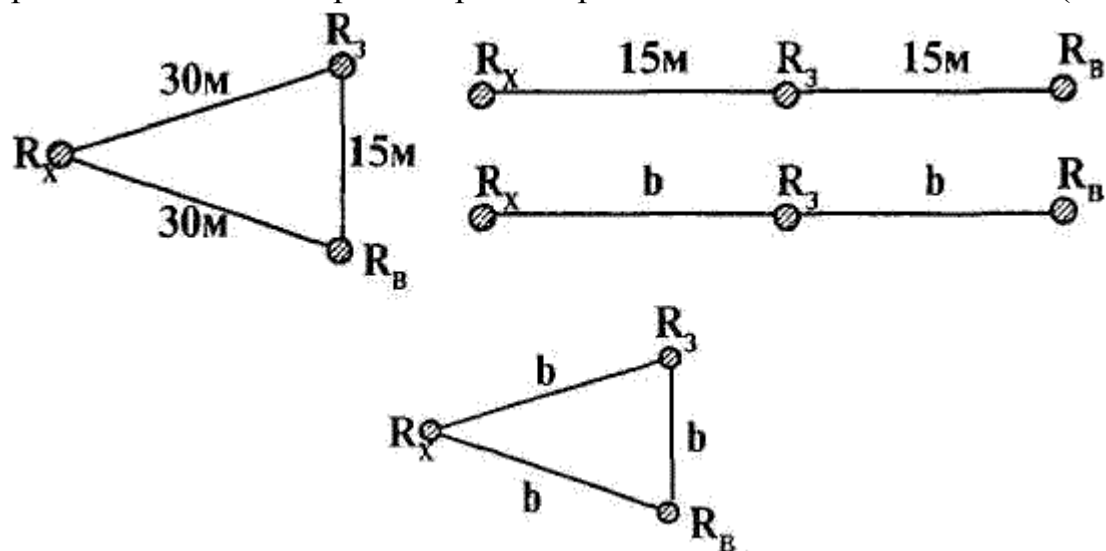


Рис. 2.3. Схемы расположения электродов при измерении одиночных вертикальных заземлителей

R_x – испытываемый заземлитель;
 R_B – вспомогательный заземлитель (токовый электрод);
 R_3 – зонд (потенциальный электрод);
 $b > 3L$ (L – длина вертикального заземлителя).

Для некоторых приборов указанные расстояния могут отличаться от приведенных.

Полный комплект принадлежностей для производства работ по замерам сопротивления заземлителя (П4126М) должен состоять;

- 4 - 6 электродов (R_v и R_3), заостренных с одного конца или со спиралью типа «буравчик», а со второго конца – с поперечными рукоятками для ввертывания их в грунт, а также с болтами и гайками-барашками;
- два барабана гибкого медного провода типа ПВГ (ПВ-2) сечением $1,5 - 2,5 \text{ мм}^2$ и длиной 100 – 120 м;
- гибкий провод типа ПВГ (ПВ-2) – 5 – 10 метров для подсоединения измерителя к заземлителю;
- рулетка 10 – 20 метров;
- молоток или кувалда весом 2 – 5 кг;
- напильник для зачистки контактов.

Электроды вворачиваются или забиваются в плотный грунт (не насыпной) на глубину не менее 0,5 метра.

В грунтах с большим удельным сопротивлением (например, песок) места, где нужно забивать вспомогательные заземлители, уплотняют или увлажняют водой, раствором соли или кислоты.

Количество штырей в измерительном (вспомогательном) электроде R_v зависит от удельного сопротивления поверхностного слоя земли.

В сухих, песчаных и мерзлых грунтах может потребоваться несколько соединенных электродов.

Для устройства потенциального электрода (зонда R_3) в большинстве случаев достаточно одного штыря. При измерении сопротивления заземления опор линии электропередачи, соединенных между собой грозозащитным тросом, последний должен отсоединяться от испытываемой опоры.

Сопротивление заземлителя не должно превышать нормируемого значения в любое время года.

Для получения максимально возможного значения на протяжении года (при наибольшем промерзании почвы зимой и высыхании летом) измеренные значения сопротивления должны быть умножены на поправочный коэффициент K , т.е. расчетное значение сопротивления заземлителя определяется из выражения:

$$R = R_{\text{изм}} \cdot K.$$

Учитывая, что ПТЭЭП 2003 года предписывают измерять сопротивление заземляющих устройств в период наибольшего высыхания грунта, что невозможно при приемосдаточных и сертификационных испытаниях и таблица поправочных коэффициентов, определенных ПЭЭП 1993 г. (таблица 40 приложения 1.1) в ПТЭЭП 2003 г. отсутствует, в данной ситуации целесообразно следующее:

- воспользоваться указанной таблицей, как зарекомендовавшей себя достаточно достоверными данными поправочных коэффициентов (K);
- на основе обработки достаточного количества статистических данных определить коэффициенты приведения результатов измерений $R_{\text{зв}}$ к условиям наибольшего высыхания грунта.

Величины коэффициента K по ПЭЭП 1993 г. приведены в таблице 2.4.

K_1 применяется, если земля влажная, моменту измерения предшествовало выпадение большого количества осадков, или после весеннего паводка.

K_2 – если земля нормальной влажности.

K_3 – если земля сухая, количество осадков ниже нормы.

При разветвленной заземляющей сети измерения производят отдельно: сопротивление заземлителей и сопротивление заземляющих проводников, т.е. металлической связи корпусов электрооборудования с контуром заземления.

При замерзшем грунте или нахождении заземлителя ниже глубины промерзания $K = 1$.

При приемо-сдаточных испытаниях электроустановок зданий для повторных заземлений PEN– (PE)– проводников питающих сетей на вводах в здания этот коэффициент можно не учитывать, так как сопротивление повторных заземляющих устройств PEN– (PE)– проводников не нормируется (за исключением повторных заземлений ВЛ). При этом периодические измерения сопротивления этих заземляющих устройств в процессе эксплуатации следует производить в тех же климатических условиях (в то же время года) и по той же схеме измерения, что и при приемо-сдаточных испытаниях.

В таблице 2.4 приняты следующие обозначения:

t – глубина расположения в земле верхней части заземлителя, м;

S – площадь контура или сетки, м^2 ;

n – количество электродов контура, шт;

L – длина горизонтальной полосы или вертикального заземлителя, м.

Таблица (ПЭЭП табл. 40)

Поправочный коэффициент K , для получения максимально возможного значения сопротивления на

протяжении года (при наибольшем промерзании почвы зимой и высыхании летом)

Тип заземлителя	Размер заземлителя	t = 0,7 – 0,8 м			t = 0,5 м		
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₁	K ₂	K ₃
Горизонтальная полоса	L = 5 м	4,3	3,6	2,9	8,0	6,2	4,4
	L = 20 м	3,6	3,0	2,5	6,5	5,2	3,8
Заземляющая сетка или контур	S = 400 м ²	2,6	2,3	2,0	4,6	3,8	3,2
	S = 900 м ²	2,2	2,0	1,8	3,6	3,0	2,7
	S = 3600 м ²	1,8	1,7	1,6	3,0	2,6	2,3
Заземляющая сетка или контур с вертикальными электродами длиной 5м	S = 900 м ² n > 10 шт	1,6	1,5	1,4	2,1	1,9	1,8
	S = 3600 м ² n > 15 шт	1,5	1,4	1,3	2,0	1,9	1,7
Одиночный вертикальный заземлитель	L = 2,5 м	2,0	1,75	1,5	3,8	3,0	2,3

	L = 3,5 м	1, 6	1,4 0	1,3	2 ,1	1,9	1 ,6
	L = 5,0 м	1, 3	1,2 3	1,1 5	1 ,6	1, 5	1 ,3

2.1.2. Измерение сопротивления заземляющих устройств прибором М416

Принцип действия прибора основан на компенсационном методе измерения. Структурная схема прибора приведена на рис. 2.4.

Переменный ток от преобразователя через первичную обмотку трансформатора, токовые зажимы 1 и 4 прибора поступает во внешнюю цепь. Вторичная цепь прибора подключена к резистору R , с помощью которого производится компенсация напряжения на измеряемом сопротивлении. При такой схеме включения на измерительное устройство (усилитель, детектор и индикатор «Р») подается разность напряжений на резисторе R и на измеряемом сопротивлении. В момент компенсации (равенства сравниваемых напряжений) ток в цепи индикатора будет равен нулю. Прибор снабжен шкалой, позволяющей непосредственно определить значение измеряемого сопротивления.

Пределы измерения прибора М416 от 0,1 до 1000 Ом, изменение пределов измерения осуществляется переключателем путем включения параллельно с резистором R сопротивлений, величина которых зависит от предела измерений.

Предел измерения прибора разбит на 4 диапазона:

0,1-10; 0,5-50; 2-200; 10-1000 Ом.

Погрешность измерения М416 в различных диапазонах измерений приведена в табл. 2.5.

Погрешность измерения прибора М416

Диапазон измерения	Погрешность измерения
0-1 Ω	5,0 % ($\pm 50 \text{ m}\Omega$)
0-5 Ω	5,0 % ($\pm 0,25 \Omega$)
0-20 Ω	5,0 % ($\pm 1 \Omega$)
0-100 Ω	5,0 % ($\pm 5 \Omega$)

Основная погрешность прибора сохраняется в пределах паспортных данных при сопротивлениях вспомогательного заземлителя и зонда не более:

- 500 Ом в диапазоне измерений 0,1-10 Ом;
- 1000 Ом - 0,5-50 Ом;
- 2500 Ом - 2-200 Ом;
- 5000 Ом - 10-1000 Ом.

Источником питания прибора служат три последовательно соединенных сухих элемента типа «373» (1,5 В).

Измерение прибором может производиться как по трех-зажимной схеме (рис., измерение сопротивлений более 50 Ом), так и по четырехзажимной (рис. 2.6, измерение сопротивления менее 50 Ом). При измерениях по трехзажимной схеме между клеммами 1–2 ставят перемычку. При этом сопротивление провода от клеммы 1 до R_x вносит погрешность в измерения.

При измерениях по однолучевой схеме расстояние от заземлителя до зонда (R_z) должно быть не менее $5D+20$ м,

где D – наибольшая диагональ сложного заземлителя (для простого заземлителя $D=0$), а от зонда до вспомогательного электрода не менее 20 м для сложного заземлителя и 10 м – для простого.

При сопротивлении электродов, используемых в качестве вспомогательного заземлителя и зонда, больше вышеуказанных, его необходимо уменьшить путем увлажнения грунта в месте их забивки (вворачивания) или использовать вместо одного несколько соединенных между собой электродов.

Измерение сопротивления электродов проводится по двухзажимной схеме независимо от типа используемого прибора (М416, Ф-4301-М1).

Порядок проведения измерений:

- установить переключатель в положение «Контроль 5 Ом», нажать кнопку и вращением ручки «Реохорд» добиться установки стрелки индикатора на нулевую отметку, на шкале при этом должно быть показание $5 \pm 0,3$ Ом;
- собрать схему измерения;
- переключатель диапазонов установить в положение «х1» вращением реохорда добиться установки стрелки на нуль. Если измеряемое сопротивление более 10 Ом, выбрать другой предел измерений («х20», «х5», «х1»).

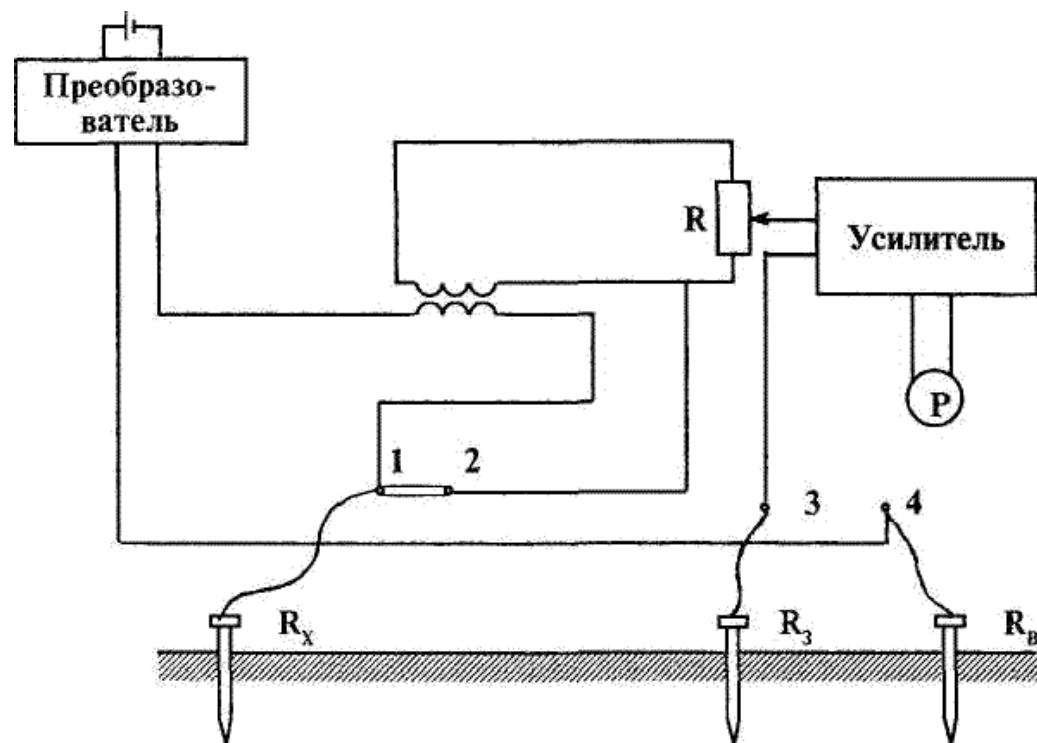


Рис. Структурная схема прибора М416

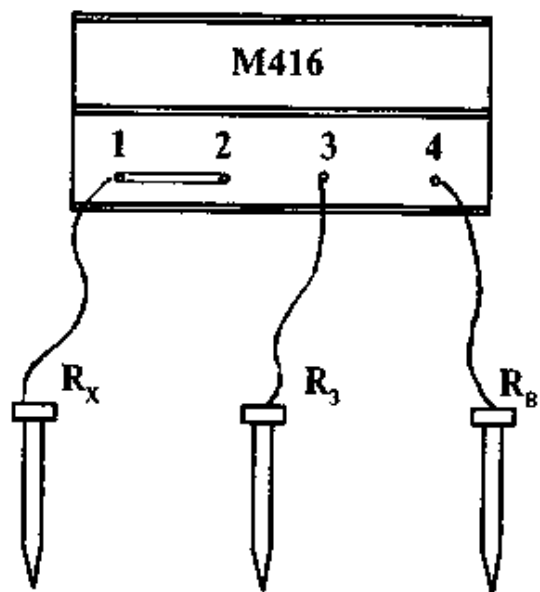


Рис. Измерение больших сопротивлений $R > 50 \text{ Ом}$

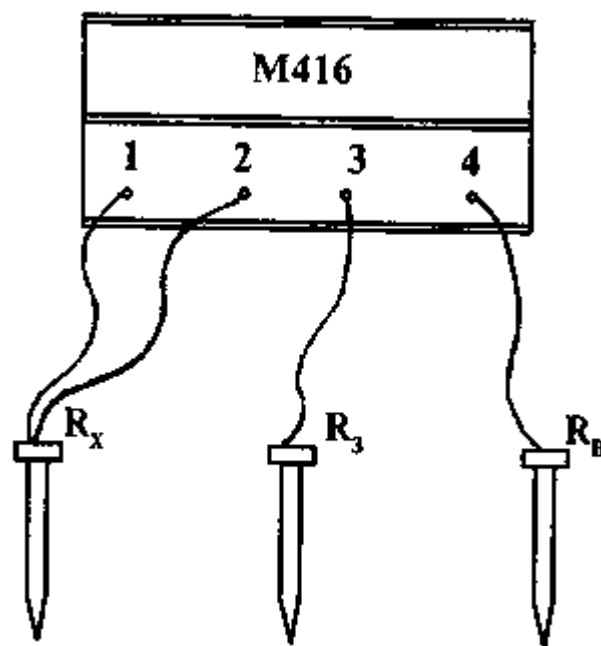


Рис. Измерение малых сопротивлений $R < 50 \text{ Ом}$

2.1.3. Измерение сопротивления заземляющих устройств прибором Ф4103-М1

Прибор Ф4103-М1 (рис. 2.7) позволяет измерять сопротивление заземляющих устройств электроустановок практически всех напряжений. Прибор имеет десять диапазонов измерений, позволяющих измерять сопротивление заземляющих устройств от 0 до 15000 Ом (табл. 2.6). Принцип действия прибора аналогичен принципу действия прибора М416. Прибор имеет встроенный источник постоянного тока, обеспечивающий не менее 800 измерений, преобразователь переменного тока в стабилизированный переменный ток частотой 280 Гц и обладает высокой помехозащищенностью. Измерение сопротивления заземляющих устройств выполняется по схеме, приведенной на рис.

2.8.



Рис. 2.7. Общий вид Ф4103-М1

Технические характеристики Ф4103-М1

Диапазон измерения, Ом	Класс точности
0-0,3	4,0
0-1	2,5
0-3	
0-10	
0-30	

0-100	
0-300	
0-1000	
0-3000	
0-15000	

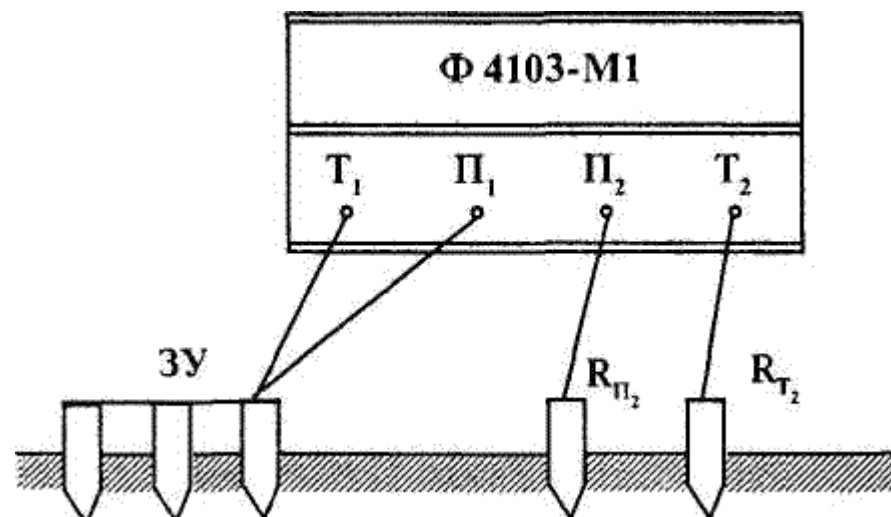


Рис. 2.8. Схема измерения заземляющих устройств прибором Ф4103-М1

Направление разноса электродов R_{T_2} и R_{Π_2} выбирается так, чтобы соединительные провода не проходили вблизи металлоконструкций и параллельно трассе ЛЭП. При этом расстояние между токовыми и потенциальными проводами должно быть не менее 1 м. Присоединение проводов к ЗУ выполняется на одной металлоконструкции, выбирая места подключения на расстоянии 0,2 – 0,4 м друг от друга. Измерительные электроды размещаются по однолучевой или

двухлучевой схеме. Токовый электрод (R_{T2}) устанавливается на расстоянии $L_{3T} = 2 D$ (предпочтительно $L_{3T} = 3D$) от края испытуемого устройства (D – наибольшая диагональ заземляющего устройства), а потенциальный электрод ($R_{П2}$) – поочередно на расстояниях $(0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8) L_{3T}$.

Измерение сопротивления ЗУ проводится при установке потенциального электрода в каждой из указанных точек. По данным измерений строится кривая "Б" зависимости сопротивления ЗУ от расстояния потенциального электрода до заземляющего устройства.

Пример такого построения представлен на рис.

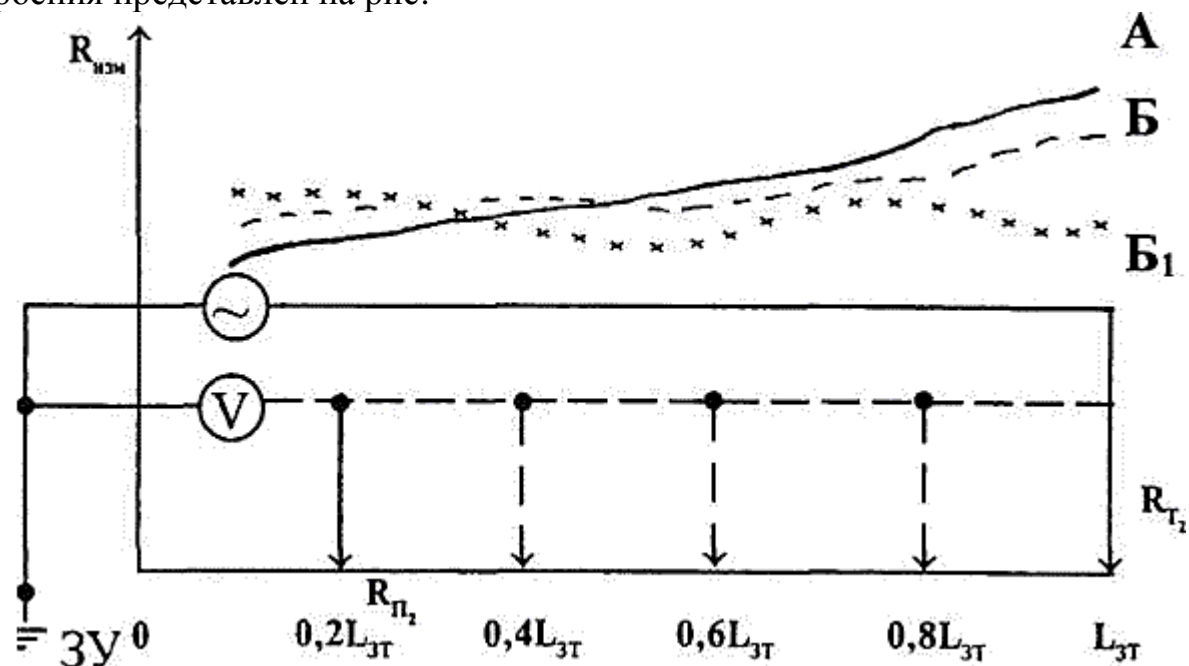


Рис. 2.9. Зависимость сопротивления ЗУ от расстояния потенциального электрода до заземляющего устройства:

L_{3T} – расстояние от края ЗУ до токового электрода

Полученная кривая "Б" сравнивается с кривой "А".

Если кривая "Б" имеет монотонный характер (такой же, как у кривой "А") и значения сопротивления ЗУ, измеренные при положениях потенциального электрода на расстояниях $0,4 L_{ЗТ}$ и $0,6 L_{ЗТ}$ отличаются не более чем на 10%, то места забивки электродов выбраны правильно, и за сопротивление ЗУ принимается значение, полученное при расположении потенциального электрода на расстоянии $0,5 L_{ЗТ}$.

Если эта кривая ("Б₁") принципиально отличается от кривой "А" (не имеет монотонного характера), что может быть следствием влияния надземных и подземных металлоконструкций, то измерения необходимо повторить при расположении токового электрода в другом направлении от заземляющего устройства.

Если значения сопротивления ЗУ, измеренное при положениях потенциального электрода на расстоянии $0,4 L_{ЗТ}$ и $0,6 L_{ЗТ}$ отличаются более чем на 10%, то повторить измерения сопротивления ЗУ при увеличенном в 1,5 - 2 раза расстоянии от ЗУ до токового электрода.

Порядок проведения измерений

Измерения проводятся в следующей последовательности:

1. Проверить напряжение источника питания. Для этого замкнуть зажимы T_1 ; P_1 ; P_2 ; T_2 , установить переключатели в положения КАЛИБР и "0,3". Ручку КАЛИБР – установить в крайнее правое положение.

Нажать кнопку ИЗМЕР. Если при этом лампа КП не загорается, напряжение питания в норме.

3. Проверить работоспособность измерителя. Для этого, в положении КАЛИБР переключателя установить ноль

ручкой УСТАН. О, нажать кнопку ИЗМЕР., ручкой КАЛИБР установить стрелку на отметку "30". Присоединить провода от $R_{П2}$ и ЗУ соответственно схеме.

4. Проверить уровень помех в поверяемой цепи. Для этого установить переключатель в положение ИЗМЕР II и "0,3" и нажать кнопку ИЗМЕР.

Если лампа КПм загорается – уровень помех превышает допустимый для диапазона 0 – 0,3 Ом (3 В), необходимо перейти на диапазон 0 – 1 Ом, где допустимый уровень помех 7 В. Если в этом случае лампа не загорается, можно проводить измерения на всех диапазонах (кроме 0 – 0,3 Ом).

Запрещается подключать провода к зажимам $П_1$, и $П_2$, проводить измерения, если лампа КПм загорается на диапазоне 0 – 1 Ом во избежание выхода измерителя из строя.

При кратковременном повышении уровня помех выше допустимого провести повторный контроль по истечении некоторого времени.

5. Измерить сопротивление потенциального электрода по схеме.

Для этого установить диапазон изменения, ориентировочно соответствующий измеряемому сопротивлению электрода, и провести калибровку прибора.

Перевести переключатель в положение ИЗМЕР II и определить значение сопротивления.

Если оно превышает допустимое, указанное в табл. для выбранного диапазона измерения, его необходимо уменьшить одним из ранее указанных способов.

Диапазоны измерений и допустимые сопротивления потенциальных и токовых электродов

Диапазон измерений, Ом	Диапазон допускаемых значений сопротивления электродов, кОм	
	Потенциальных R _{п1} , R _{п2} или их суммарное сопротивление (R _{п1} + R _{п2}).	Потенциальных R _{п1} , R _{п2} или их суммарное сопротивление (R _{п1} + R _{п2}).
0 - 0,3; 0 - 1	0-2	0-1
0 - 3; 0 - 10	0-6	0-3
0 - 30; 0 - 100; 0 - 300; 0 - 1000; 0 - 3000; 0 - 15000	0-12	0-6

Примечание: R_{т1}, R_{п1}, R_{п2}, R_{т2} - условные обозначения сопротивлений электродов, подключаемых к соответствующим зажимам.

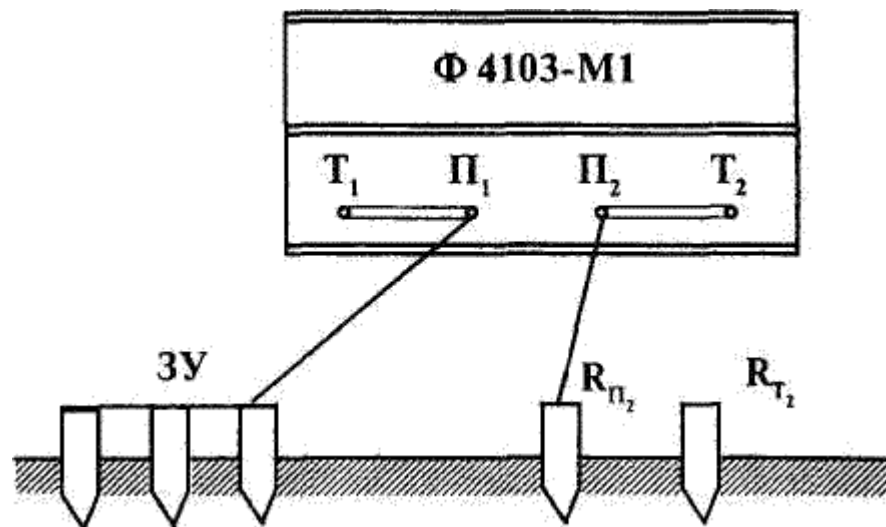


Рис. Двухзажимная схема измерения сопротивления потенциального электрода

Подключить измеритель к схеме измерения в соответствии с рис.

6. Установить необходимый диапазон измерений, затем провести установку нуля и калибровку.

Если при калибровке стрелка находится левее отметки "30" – уменьшить сопротивление токового электрода, либо провести измерение при повышенных сопротивлениях электродов.

7. Перевести переключатель «РОД РАБОТ» в положение ИЗМЕР II и отсчитать значение сопротивления.

Если стрелка под воздействием помех совершает колебательные движения, устранить их вращением ручки ПОДСТР.

1.

При необходимости использовать более высокий диапазон измерения, переключив ПРЕДЕЛЫ П в необходимое положение.

2.14. Измерение сопротивления заземляющих устройств приборами MRU-100 и MRU-101 [5]

Цифровые измерители параметров устройств заземления MRU-100 и MRU-101 предназначены для измерений сопротивления заземляющих устройств и удельного сопротивления грунта.

С помощью MRU-100 производится:

- измерение сопротивления устройств заземления по двух, трех– или четырехэлектродной схеме;
- измерение удельного сопротивления грунта;
- проверка напряжений помех (переменного и постоянного тока) с блокировкой измерения сопротивления устройств заземления и удельного сопротивления грунта, когда помехи слишком высоки;
- проверка сопротивления измерительных электродов перед измерением для обеспечения точности измерения.

Порядок проведения измерений

После включения измерителя клавишей 6 и выбора функции поворотным переключателем 7 , на LCD дисплее отображается величина напряжения шума. Если напряжение шума превышает 24 В, то нельзя выполнять измерение - в этой ситуации необходимо проверить подключены ли измерительные провода к прибору, подсоединен ли кабель питания к сети, нет ли короткого замыкания или нарушения электрической изоляции измерительных проводов, что может мешать измерениям.

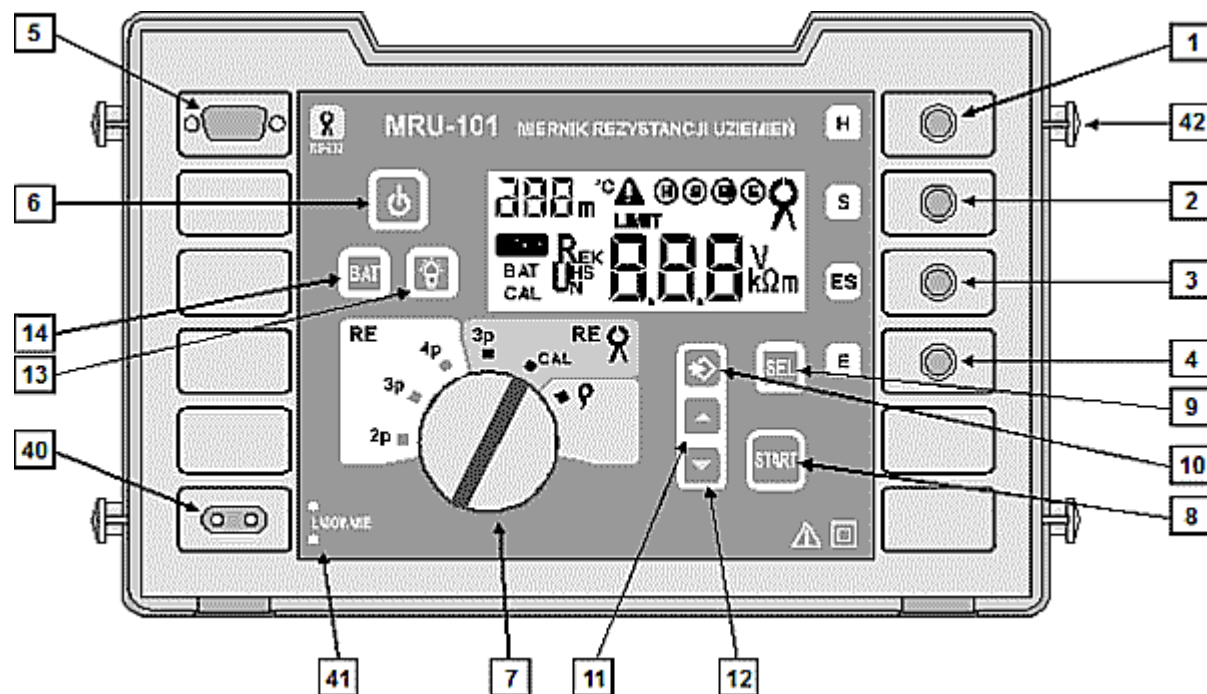


Рис. 2.11. Передняя панель измерителя MRU-101

Измерение начинается после нажатия клавиши **8 START**. Прибор выполняет цикл измерения, если нет ни одной из причин для блокировки. При измерении основное поле **19 LCD** дисплея отображает символы «Д-Д», указывающие на то, что идет передача сигналов данной стадии измерения, а в поле **20** светятся текущие значения параметров, измеряемых в данном режиме измерителя. После окончания измерения отображаются значения величины сопротивления и сопротивления измерительного электрода или удельного сопротивления грунта. Остальные параметры измерителя могут отображаться при нажатии клавиши **9 SEL**.

Измеритель выбирает автоматически диапазон измерения для каждой функции.

Измерение сопротивления заземления по трёхэлектродной схеме

Трёхэлектродная схема - основная схема измерения сопротивления устройств заземления. Процедура такова:

1. Исследуемый заземлитель соединяют с измерительным гнездом **4** прибора, обозначенным как «**E**» (рис. 2.12).
2. Токовый электрод вбивают в грунт на расстоянии, превышающем 40 м от исследуемого заземлителя, и соединяют измерительным проводом с гнездом **1** «**H**» измерителя.
3. Потенциальный электрод вбивают в грунт на расстоянии, превышающем 20 м от исследуемого заземлителя и соединяют с гнездом **2** «**S**». Исследуемый заземлитель, токовый электрод и потенциальный электрод необходимо выстроить в одну линию.
4. Поворотный переключатель функций **7** следует установить в положение **RE 3p**.
5. Нажать клавишу **8 START**.
6. Снять показание сопротивления устройства заземления R_E , а также сопротивления измерительных электродов R_S и R_H . Измеряемые величины могут быть считаны с основного поля дисплея **19** после нажатия клавиши **9 SEL**.
7. Повторить измерения (по п.п. 5 и 6) после перемещения потенциального электрода на 1 м к измеряемому заземлителю. Если результаты измерения отличаются больше чем на 3 %, расстояние от токового электрода до исследуемого заземлителя должно быть увеличено значительно, а измерения следует повторять. Оптимальное положение потенциального электрода - 62 % от расстояния между токовым электродом и исследуемым заземлителем.

Измерение сопротивления заземления по четырёхэлектродной схеме

В случае, если необходимо выполнить измерение без дополнительной ошибки из-за сопротивления измерительных проводов, используют четырёхэлектродную схему.

Для измерения сопротивления заземления используется следующая процедура:

1. Заземлитель соединяют с гнездами 3 и 4 измерителя, обозначенными как «E» и «ES» соответственно.

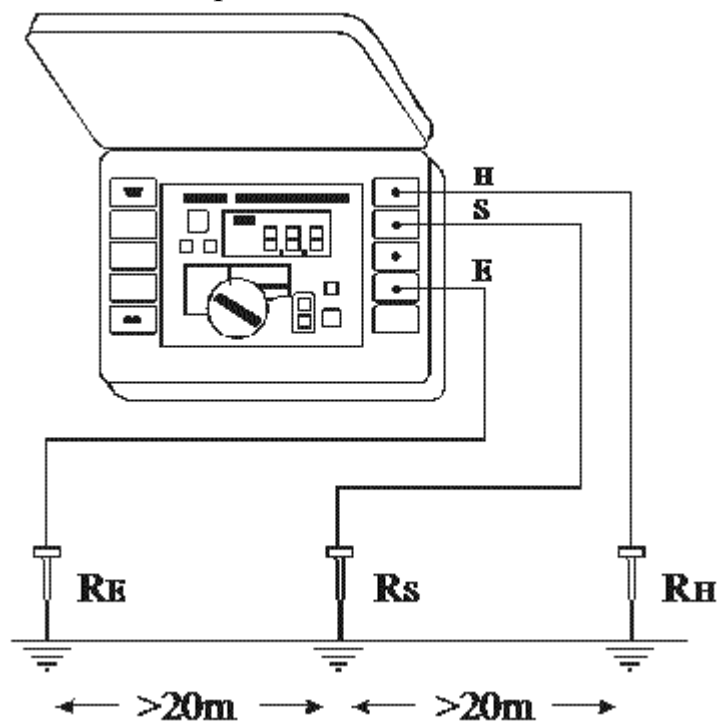


Рис. 2.12. Трехэлектродная схема для измерения сопротивления заземления

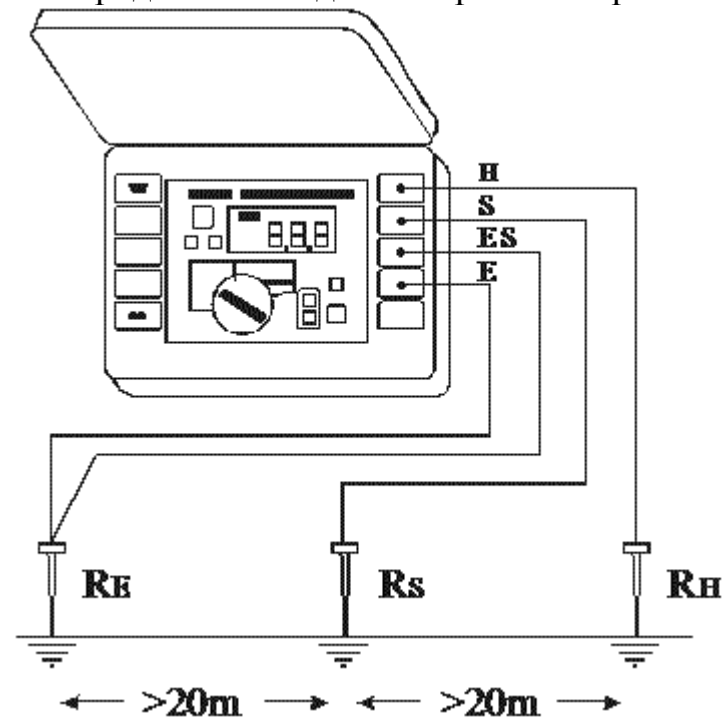


Рис. 2.13. Четырехэлектродная схема измерения сопротивления заземления

2. Токковый электрод устанавливают в грунт на расстоянии свыше 40 м от заземлителя и соединяют с гнездом 1 «Н».

3. Потенциальный электрод устанавливают в грунт на расстоянии 20 м от измеряемого заземлителя, соединенного с гнездом 2 «S». Заземлитель, токковый и потенциальный измерительные электроды должны быть выстроены в одну линию.

4. Поворотный переключатель функций **7** должен быть установлен в положение **RE 4p**.
5. Нажать клавишу **8 START**. Далее, аналогично измерению сопротивления заземления по трехэлектродной схеме.

Измерение суммарного сопротивления заземлителя с использованием измерительных клещей

Измерительные клещи используются для определения токов, текущих через отдельные электроды устройства заземления, при этом используется следующая процедура:

1. Соединяют исследуемый заземлитель с гнездом 4 измерителя, обозначенным символом «E ».

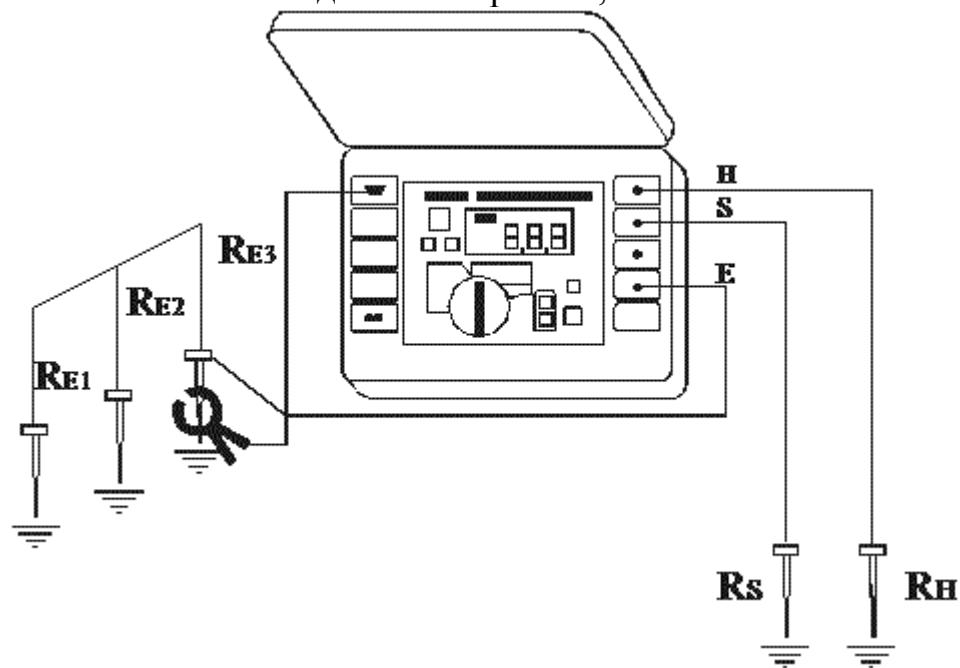


Рис. Использование измерителя для измерения сопротивления многоэлементного устройства заземления по трехполюсной схеме

2. Токовый электрод вбивают в грунт на расстоянии, превышающем 40 м от исследуемого заземлителя и соединяют измерительным проводом с гнездом **1 «Н»**.
3. Потенциальный электрод устанавливают в грунт на расстоянии 20 м от измеряемого заземлителя, соединенного с гнездом **2 «S»**. Заземлитель, токовый и потенциальный измерительные электроды должны быть выстроены в одну линию.
4. Подключить измерительные клещи через кабель к разъему **5** и охватить захватом измерительных клещей измерительный провод, подключенный к гнезду «Е».
5. Поворотный переключатель функций **7** установить в положение **RE 3p**.
6. Нажать клавишу **8 START**.
7. Снять показания значения сопротивления заземления R_E , а также значения сопротивлений измерительных электродов R_S и R_H . Значения измеренных параметров могут быть сняты с основного поля дисплея **19** после нажатия на клавишу **9 SEL**.
8. Повторить измерения после перемещения потенциального электрода на 1 м далее к измеряемому заземлителю. Если результаты измерений отличаются больше чем на 3 %, то расстояние токового электрода до исследуемого увеличивают значительно и повторяют измерения. Оптимальное положение потенциального электрода - 62 % от расстояния между токовым электродом и исследуемым заземлителем.

При измерениях сопротивления заземлителей, состоящих из системы электродов, соединенных с опорой линии электропередачи иногда возникает потребность в определении не только сопротивления отдельных элементов заземлителя, но и общего сопротивления всей его системы электродов. Измерив значения сопротивлений отдельных элементов заземлителя R_{E1} , R_{E2} , R_{E3} , R_{E4} , определяют общую величину сопротивления системы по формуле:

$$R_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{E1}} + \frac{1}{R_{E2}} + \frac{1}{R_{E3}} + \frac{1}{R_{E4}} + \dots}.$$

2.2.1. Измерение удельного сопротивления грунта

Измерение удельного сопротивления грунта проводится, когда измеренное сопротивление заземлителя больше проектного (расчетного) значения или не соответствует нормативным требованиям.

В этом случае проверяется допустимая степень этого несоответствия при повышенных удельных сопротивлениях грунта.

Измерения проводятся по методу «вертикального зондирования» с помощью приборов М416, Ф4103-М1.

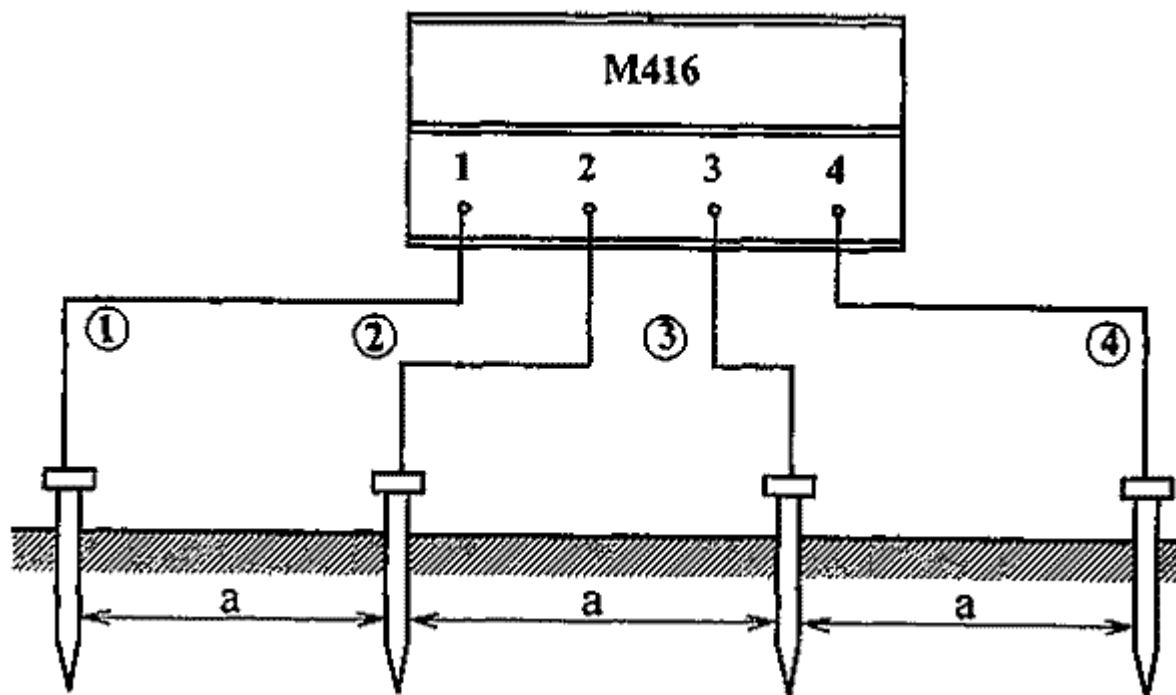


Рис. 2.15. Схема измерения удельного сопротивления грунта

Зажимы 1, 2, 3, 4 прибора М416 соответствуют зажимам T_1 , Π_1 , Π_2 , T_2 прибора Ф-4103-М1.

Удельное сопротивление грунта определяется по формуле $\rho = 2\pi aR$, (Ом·м),

где R – измеренное сопротивление заземлителей (показание прибора);

a – расстояние между электродами, которое следует принимать не менее чем в 5 раз больше глубины погружения

электродов.

Измерение удельного сопротивления грунта приборами MRU-100 и MRU-101

Схема измерения удельного сопротивления грунта идентична четырехполюсной схеме измерений сопротивления заземления, но содержит дополнительную процедуру ввода в прибор взаимного расстояния между измерительными электродами и электродами заземлителя. Результат измерения - величина удельного сопротивления грунта рассчитывается автоматически согласно формуле $r = 2dR_E$. Вышеупомянутая методика предполагает равные расстояния между электродами.

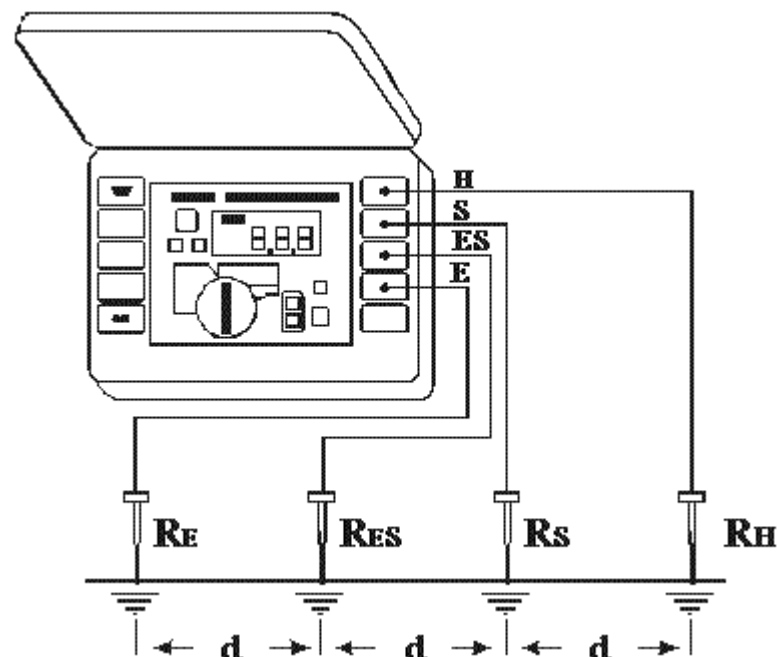


Рис. Схема для измерений удельного сопротивления грунта

Процедура, применяемая для измерения удельного сопротивления грунта, следующая:

1. Измерительные электроды устанавливают в грунт по прямой линии, через равные взаимные расстояния и соединяют с измерительными гнездами **1**, **2**, **3** и **4**, обозначенными символами «**H**», «**S**», «**ES**» и «**E**», соответственно.
2. Поворотный переключатель **7** устанавливают в положение «**r**».
3. Нажимают на клавишу **8 START**.
4. Используя клавиши управления стрелками **11** и **12** изменяют величину расстояния между электродами, индицируемую на дисплее так, чтобы соответствовала фактическому расстоянию.
5. Нажимают на клавишу **8 START**.
6. Снимают показания значения сопротивления заземления **R_E**, а также значения сопротивлений измерительных электродов **R_S** и **R_H**. Значения измеренных параметров могут быть сняты с основного поля дисплея **19** после нажатия на клавишу **9 SEL**.

Проверка наличия цепи между заземляющим устройством и заземленными частями электроустановки (непрерывности защитных проводников)

Все защитные проводники, включая заземляющие и проводники уравнивания потенциалов, не должны иметь обрывов и неудовлетворительных контактов в местах их присоединения к открытым и сторонним проводящим частям.

В соответствии с ГОСТ Р50571.16-99 непрерывность защитных проводников при приемо-сдаточных испытаниях электроустановок проверяется измерением полного сопротивления цепи «фаза-нуль» или тока однофазного замыкания на корпус или РЕ-проводник. Непрерывность защитных проводников считается обеспеченной, если ток однофазного замыкания приводит к срабатыванию коммутационно-защитных аппаратов в течение нормированного времени отключения питания.

Однако непрерывность заземляющих проводников и проводников систем уравнивания потенциалов не всегда возможно проверить указанным методом (например, проводники основной системы уравнивания потенциалов). В этом случае необходимо измерить переходные сопротивления разборных контактных соединений в этих проводниках. Сопротивление этих контактных соединений не должно превышать 0,05 Ом.

При профилактических испытаниях непрерывность защитных проводников проверяется только измерением сопротивления контактных соединений.

Наличие цепи (металлической связи) между защитными проводниками и проводящими частями определяется измерением сопротивления контактных соединений различными приборами:

- измерителем сопротивления заземляющих устройств Ф4103-М1;
- измерителем малых комплексных сопротивлений «Вымпел»;
- измерительным мостом постоянного тока Р-333;
- методом «амперметра-вольтметра»;

Последние два метода трудоемки, но позволяют выявлять плохие контактные соединения, сопротивления которых находятся на грани допустимого (0,05 Ом).

Для массовых измерений удобно пользоваться измерителем Ф4103-М1, подключив зажимы Т₁, П₁ к магистрали заземления, а зажимы Т₂, П₂ – к корпусу электроустановки, а также измерителем малых комплексных сопротивлений

«Вымпел».

Проверка наличия цепи между заземляющим устройством и заземленными частями электроустановки при помощи Р-333

Порядок измерения сопротивлений от 10 до $999,9 \cdot 10^3$ Ом. Измерение сопротивлений от 10 до $999,9 \cdot 10^3$ Ом производится по двухзажимной схеме включения, для чего:

- замыкают зажимы 1 и 2, 3 и 4 с помощью перемычек;
- переключатель схемы ставят в положение МВ;
- подключают измеряемое сопротивление к зажимам 2 и 3;
- устанавливают переключатель плеч отношений на соответствующий множитель согласно табл. 2.8, в зависимости от предполагаемой величины R_x ;
- устанавливают на четырех декадах сравнительного плеча ожидаемое сопротивление;
- нажимают кнопку ЭНИ и ручкой БАЛАНС добиваясь горения обоих индикаторных элементов.

Допускается при высокой чувствительности нуль-индикатора при малейшем повороте ручки БАЛАНС, чтобы горел левый или правый индикаторный элемент;

- нажмите кнопку ПИТ. Если загорелся правый индикаторный элемент, то после уравнивания моста должен гореть левый и наоборот. Мост точно уравновешен, когда поочередно загораются левый или правый индикаторный элемент при повороте ручки переключателя декады младшего разряда ("x1") на 1 единицу. Возможно при этом и одновременное горение индикаторных элементов;

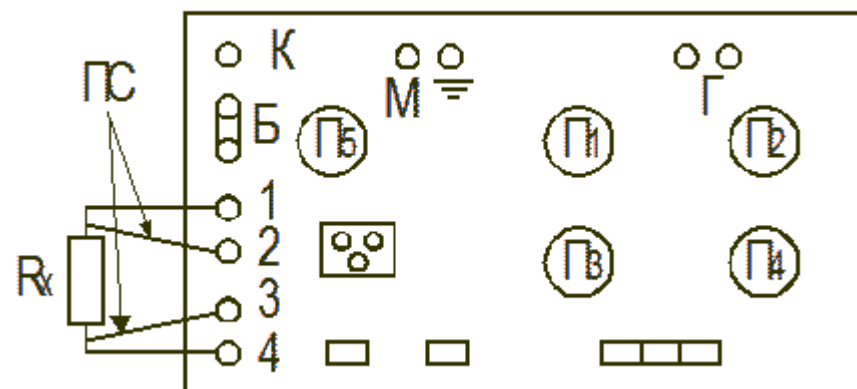


Рис. Двухзажимная схема включения измерительного моста постоянного тока Р-333

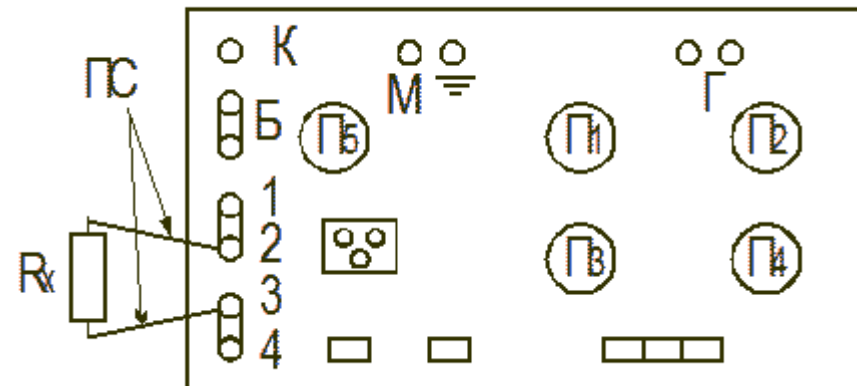


Рис. Четырехзажимная схема включения измерительного моста постоянного тока Р-333

Измеряемое сопротивление R _x , Ом	Рекомендуемые множители, "n"	Напряжение источника питания, V		Погрешность измерения, %	Класс точности	Схема включения
		Встроенная батарея	внешняя батарея			
5·10 ⁻³ – 0,0999	0,0001	–	1,5	±5	5	4-х зажимная
1·10 ⁻¹ – 0,9999				±1	1	
1 – 9,999	0,001	1,5	1 – 1,5	±0,5	0,5	2-х зажимная
10 – 99,99	0,01		1,5 – 3	±0,5	0,5	
100 – 999,9	0,1		3 – 10	±0,5	0,5	
1000-9999	1			±0,5	0,5	
10000-50000	10		10-16	±0,5	0,5	
50000-99990		±0,5		0,5		
100000-999900	100	–	±5	5		

– вычислите сопротивление по формуле

$$R_x = nR, \text{ Ом,}$$

$$n = \frac{r_1}{r_2}$$

где r_2 – множитель, устанавливаемый на декаде плеч отношений (П5),

R - сопротивление сравнительного плеча;

– после окончания измерений кнопку ПИТ отожмите.

Порядок измерения сопротивлений от $5 \cdot 10^{-3}$ до 9,999 Ом. Измерение сопротивлений в указанном диапазоне необходимо производить по четырехзажимной схеме включения (рис. 2.18), для чего:

- перемычки, соединяющие зажимы 1 и 2, 3 и 4, отсоединяют;
- измеряемое сопротивление присоединяют к зажимам 1, 2, 3 и 4 с помощью четырех проводников (ПС);
- сопротивление проводников, идущих к зажимам 2 и 3, должно быть не более 0,005 Ом;
- процесс уравнивания и подсчет результатов измерения производят так же, как и при измерении сопротивлений от 10 до $999,9 \cdot 10^3$ Ом.

Пример измерения сопротивления заземляющих устройств прибором М416

Измерение сопротивления повторного заземлителя нулевого провода ВЛ 0,38 кВ проводилось прибором М416 (рис. 2.6).

Предел измерения 0 – 30 Ом, прибор установлен горизонтально.

Погрешность измерений, в соответствии с технической характеристикой прибора (табл. 2.5), составляет 5 %.

При измерении сопротивления заземлителя $R_{изм}$ показания прибора составили 24 Ом.

С учетом погрешности прибора $R_{изм} = 24 \pm 5$ Ом.

Повторное заземление нулевого провода ВЛ 0,38 кВ выполнено в виде одиночного вертикального заземлителя длиной 3,5 м.

Расчетное сопротивление заземляющего устройства определяем с учетом погодных условий и состояния грунта, в соответствии с выражением (2.2)

$$R = R_{\text{изм}} \cdot K.$$

Измерения проводились в летний период времени. Земля сухая, количество осадков ниже нормы.

Принимая по таблице 2.4 $K = K_3 = 1,3$, определим R

$$R = 24 \cdot 1,3 = 31,2 \pm 5 \text{ Ом}.$$

Значение расчетного сопротивления повторного заземлителя нулевого провода ВЛ 0,38 кВ не удовлетворяет требованиям ПУЭ [2] – 30 Ом.

2.4. Оформление результатов измерений

Результаты измерений оформляются протоколами, формы которых прилагаются.

Порядок выполнения работы

1. На основе таблиц 1.1 – 1.3 разработайте план проведения испытаний заземляющих устройств электрооборудования аудитории 1-09 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования».
2. Проведите измерение сопротивления заземлителя на модели заземляющего устройства, расположенного на лабораторном стенде, приборами, указанными преподавателем. Занесите результаты измерений в соответствующий протокол.

3. Проведите измерения удельного сопротивления грунта на модели заземляющего устройства, расположенного на лабораторном стенде с помощью прибора, указанного преподавателем.
4. Осуществите проверку наличия цепи (металлической связи) между нулевым защитным проводником и корпусом электродвигателя, расположенного на лабораторном стенде (от распределительного щитка до корпуса электродвигателя). Занесите результаты измерений в соответствующий протокол.
5. Оформите соответствующие протоколы проверки сопротивлений заземлителей и заземляющих устройств, и проверки наличия цепи между заземляющим устройством и заземленными частями электроустановки.
(см. протокол проверки сопротивлений заземлителей и заземляющих устройств)
(см. протокол проверки наличия цепи между заземляющим устройством и заземленными элементами установки)

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схемы измерений сопротивления заземлителя, удельного сопротивления грунта и сопротивления контактных соединений (рис. 2.6, 2.13, 2.14, 2.15 и 2.18).
3. Протоколы проверки сопротивлений заземлителей и заземляющих устройств.
4. Протокол проверки заземлителей и заземляющих устройств.
5. Протокол проверки наличия цепи между заземляющим устройством и заземленными частями электроустановки.

Контрольные вопросы к работе

1. Чему должно быть равно сопротивление исправного соединения при проверке сопротивления цепи между заземляющим устройством и заземленными частями электроустановки?

2. Чему должно быть равно сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль трансформатора напряжением 0,4 кВ?
3. Чему должно быть равно сопротивление повторного заземлителя нулевого провода опоры ВЛ 0,38 кВ?
4. Что может быть использовано в качестве потенциального и токового электродов при измерении сопротивления заземлителя прибором М 416?
5. Поясните компенсационный принцип измерения сопротивления заземлителя прибором М 416.
6. Как измерить сопротивление заземлителя прибором М 416, если его сопротивление составляет 3,8 Ом?
7. Определите удельное сопротивление грунта, замеренное прибором М 416, если расстояние между электродами была равно 5 м, а сопротивление, измеренное прибором, равнялось 10 Ом.
8. Что понимается под заземляющим устройством?
9. С какой погрешностью проводятся измерения сопротивления заземления прибором М 416 в диапазоне от 50 до 70 Ом?
10. Как определить качество металлической связи нулевого защитного проводника схемы, содержащей силовой распределительный шкаф, распределительное устройство РУС управления электродвигателем и электродвигатель?

Лабораторно-практическая работа
тема: Испытания устройств защитного отключения

Цель работы
Задания к работе
Общие сведения
Проведение испытаний
Порядок выполнения работы
Содержание отчета

Цель работы

Изучить порядок и правила проведения испытаний устройств защитного отключения (УЗО).

Получить практические навыки испытаний УЗО.

Задания к работе

1. Изучить объемы и сроки испытаний УЗО.
2. Изучить методики проведения испытаний УЗО с использованием различных измерительных приборов.
3. Провести испытания УЗО с использованием MRP 110 (MRP-200), токовых клещей для измерения токов утечки СМ-03 и секундомера.
4. Заполнить протокол проверки УЗО.

Общие сведения [1, 15]

Испытания устройства защитного отключения проводятся с целью проверки его способности быстрого отключения аварийных участков сети и потребителей электрической энергии, а также отключения сети при случайных прикосновениях людей и животных к токоведущим и открытым проводящим частям электроустановок до момента достижения протекающего тока смертельно опасной величины.

Испытания УЗО проводятся:

- перед приемкой электроустановок в эксплуатацию;
- после планово-предупредительных и текущих ремонтов;

- после капитальных ремонтов электроустановок;
- не реже одного раза в квартал.

Работы по испытаниям УЗО выполняются по распоряжению. В помещениях, кроме особо опасных в отношении поражения электрическим током, работник, имеющий III группу по электробезопасности и право быть производителем работ, может проводить испытания УЗО единолично.

Устройства защитного отключения относятся к классу коммутационных устройств, управляемых дифференциальным током, и по выполняемым функциям подразделяются на выключатели дифференциального тока (ВДТ) и автоматические выключатели дифференциального тока (АВДТ). ВДТ представляет собой контактный коммутационный аппарат, управляемый только дифференциальным током, и обеспечивает защиту от косвенного прикосновения. АВДТ представляет собой контактный коммутационный аппарат, управляемый дифференциальным током в сочетании с (или используемым в качестве неотъемлемой части) автоматическим выключателем, выполняя при этом двойную функцию, а именно:

- обеспечение защиты от косвенного прикосновения;
- обеспечение защиты электроустановок от перегрузок и токов короткого замыкания.

Устройства защитного отключения, имеющие номинальный дифференциальный отключающий ток не более 30 мА, могут также быть использованы в качестве средства дополнительной защиты при прямом контакте в случае повреждения изоляции или выхода из строя основных защитных средств.

По видам дифференциальных токов устройства защитного отключения подразделяются на УЗО типа «АС», которые срабатывают при синусоидальных переменных защитных токах, и УЗО типа «А», которые срабатывают как при синусоидальных, так и пульсирующих постоянных дифференциальных токах. По наличию выдержки времени срабатывания устройства защитного отключения подразделяются на УЗО общего назначения (без выдержки времени срабатывания) и УЗО типа «S», которые имеют выдержку времени срабатывания для обеспечения селективности отключения при последовательном их соединении с УЗО общего назначения.

Нормируемые и предпочтительные параметры УЗО в соответствии с требованиями ГОСТ Р50030.2-99, ГОСТ Р50345-99, ГОСТ Р51326-99, ГОСТ Р51327-99 представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

N N п/п	Наименование	Условные обозна- чения	Нормируемая величина
1 1	Номинальное напряжение	U_n	230; 400 В
2	Номинальный ток основной цепи	I_n	6; 8; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125 (А)*
3 3	Номинальный отключающий дифференциальный ток	$I\Delta n$	0,006; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 0,5; 1; 3; 10; 30 (А)**
4 4	Номинальный неотключающий дифференциальный ток	$I\Delta n_o$	0,5 $I\Delta n$
6 5	Уставка расцепителя короткого замыкания для АВДТ	I_k	По данным изготовителя
– 6	Предельное время отключения для УЗО общего назначения	T_{no}	$I\Delta n - 0,3$ с $2 I\Delta n - 0,15$ с $5 I\Delta n - 0,04$ с $10 I\Delta n - 0,04$ с
8 7	Предельное время отключения для УЗО типа «S»	T_{ns}	$I\Delta n - 0,13$ с < $T_{ns} \leq 0,5$ с $2 I\Delta n - 0,06$ с < T_{ns} $\leq 0,2$ с $5 I\Delta n - 0,05$ с < T_{ns} $\leq 0,15$ с

* Предпочтительные значения для АВДТ и ВДТ бытового и аналогичного назначения.

** Предпочтительные значения для всех АВДТ.

В соответствии с ГОСТ Р50571 при испытании УЗО измеряется дифференциальный отключающий ток, который должен находиться в пределах $0,5 I\Delta n - I\Delta n$.

Данная методика носит рекомендательный характер. В соответствии с ГОСТ Р51326-99 и ГОСТ Р51327-99 (Раздел

«Приемо-сдаточные испытания») проверяется не срабатывание УЗО при $0,5 I_{\Delta n}$ и его срабатывание при $I_{\Delta n}$ в течение нормативного времени, указанного в таблице 4.1. Эта методика обязательна при приемо-сдаточных испытаниях УЗО.

Для испытания УЗО применяются вольтамперметры, устройства для определения дифференциального отключающего тока серии «MRP», токовые клещи для измерения токов утечки СМ-03, миллиамперметры, переменные резисторы мощностью не менее 100 Вт сопротивлением не менее 100 кОм, секундомеры ПВ-53 Щ (Л).

Проведение испытаний

Проверка технической документации. Комплект технической документации должен включать:

- сертификат на соответствие УЗО ГОСТ Р 51356-1-99;
- паспорт (руководство по эксплуатации) на УЗО со штампом ОТК предприятия-изготовителя, датой изготовления, отметкой о продаже, указанием гарантийного срока;
- сопроводительную техническую документацию предприятия-изготовителя.

Сопроводительная техническая документация и маркировка УЗО должны содержать сведения о способе и месте установки, числе полюсов и числе токоведущих проводников, номинальном напряжении, номинальном токе, номинальном отключающем дифференциальном токе, максимальном времени отключения, номинальном неотключающем дифференциальном токе, номинальной включающей и отключающей способности, а также по дифференциальному току, предельном значении неотключающего тока в условиях сверхтока, номинальном условном токе короткого замыкания, рекомендуемой схеме включения.

Проверка правильности установки УЗО в схеме электроустановки. Проверка должна включать в себя обоснованность зоны защиты УЗО, соответствие его параметров нормируемым величинам, параметрам устройств защиты от сверхтоков, соответствие характеристик защиты от сверхтока УЗО расчетным параметрам сети.

Применение УЗО в двухпроводных линиях не допускается.

Проведение испытаний УЗО.

1. Проверка фиксации органа управления УЗО в двух крайних положениях: «ВКЛ»; «ОТКЛ».
2. Проверка срабатывания УЗО при включенном рабочем напряжении путем пятикратного нажатия кнопки «Тест».

При каждом нажатии кнопки контакты УЗО должны размыкаться.

3. Проверка калибровки расцепителя дифференциального тока и времени отключения при $I\Delta n$ с помощью испытательной схемы (рис. 4.1) или прибора серии «MRP» (рис. 4.4).

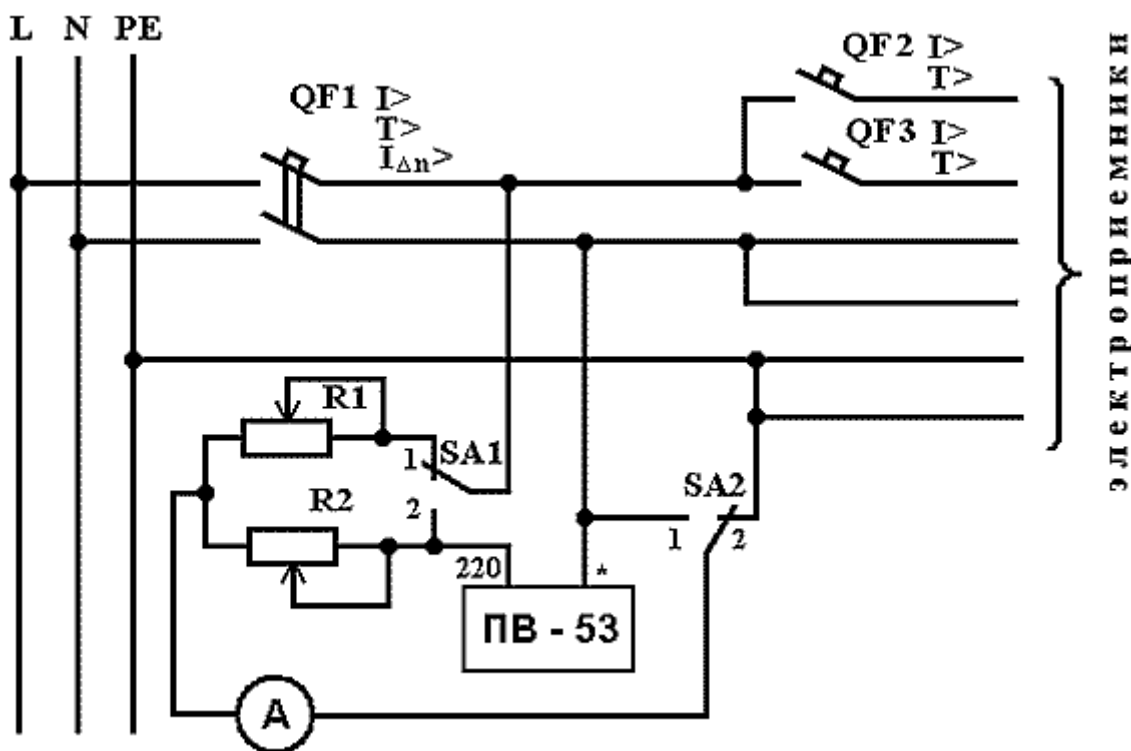


Рис. 4.1. Испытательная схема проверки УЗО

4. Проверка калибровки расцепителей перегрузки и короткого замыкания (производится по методике проверки расцепителей автоматических выключателей).

Измерение тока утечки групповой сети (при необходимости) производится с использованием той же испытательной схемы.

Испытательная схема должна обеспечивать:

- регулирование тока в пределах от 0,3 I_{Δn} до 5 I_{Δn};
- измерение времени срабатывания УЗО при различных

значениях дифференциального тока.

Порядок испытаний расцепителя дифференциального тока:

- отключить автоматические выключатели потребителей (QF2, QF3);
- отключить УЗО QF1;
- подключить к сети испытательную схему, как показано на рис. 4.1;
- переключатели SA1 и SA2 установить в положения «2» и «1» соответственно;
- включить УЗО QF1;
- установить потенциометром R2 ток, равный $I_{\Delta n}$ проверяемого УЗО;
- переключатель SA1 перевести в положение «1»;
- установить потенциометром R1 ток, равный $0,5 I_{\Delta n}$ проверяемого УЗО;
- обнулить секундомер, т.к. во втором положении переключателя SA2 на него подается напряжение и он запускается;
- переключатель SA2 перевести в положение «2», при этом в цепи «фаза – РЕ-проводник» будет протекать ток, равный $0,5 I_{\Delta n}$, УЗО сработать не должно;
- переключатель SA1 перевести в положение «2», при этом в цепи «фаза – РЕ-проводник» будет протекать ток, равный $I_{\Delta n}$, одновременно запускается электрический секундомер ПВ-53. УЗО должно сработать, а секундомер остановиться, т. к. его цепь питания разрывается контактами УЗО. Время срабатывания УЗО определяется по секундомеру.

Порядок измерения фоновых токов утечки групповых сетей:

- отключить УЗО и все автоматические выключатели групповых линий потребителей (QF1 QF2);
- переключатели SA1 и SA2 установить в положения «1» и «2» соответственно;
- потенциометр R1, установить в положение, соответствующее минимальному току в цепи;
- включить УЗО;
- измерить дифференциальный отключающий ток УЗО, для чего, плавно увеличивая его потенциометром R1, до срабатывания УЗО, определить его значение по амперметру;
- включить все автоматические выключатели групповых линий потребителей (QF2 и QF3); – проделать все предыдущие операции по измерению дифференциального

отключающего тока УЗО. Расчет фоновго тока утечки производится по формуле:

$$I_{ут} = I_{\Delta 1} - I_{\Delta 2}, \quad (4.1)$$

где $I_{\Delta 1}$ – значения дифференциального тока срабатывания УЗО при отключенных автоматических выключателях QF2 и QF3;

$I_{\Delta 2}$ – измеренное значение тока срабатывания УЗО при включенных автоматических выключателях QF1 и QF2.

Фоновый ток утечки $I_{ут}$ не должен превышать $1/3 I_{\Delta n}$.

Измерение фоновго тока утечки участка сети, групповых сетей или отдельных электроприемников можно произвести с помощью токовых клещей для измерения токов утечки CM-03 (рис. 4.2) [16].



Рис. 4.2. Токовые клещи для измерения токов утечки CM-03

Некоторые технические характеристики CM-03 представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2.

Диапазон измерений	Разрешение	Точность
40 мА	10 мкА	$\pm 1\% \pm 3$ ед. мл. разряда
400 мА	100 мкА	$\pm 1\% \pm 3$ ед. мл. разряда

Переключатель режимов работы ставят на диапазон измерений 40 или 400 мА, в зависимости от предполагаемой величины тока утечки (рис. 4.2). Нажатием на запор разъемного магнитопровода размыкают его и для проведения измерений полностью охватывают два провода – L и N (однофазная линия) (рис. 4.3) или четыре провода – L1, L2, L3 и N (трехфазная линия) кольцом магнитопровода, замкнув его вновь. Результат считывают с экрана ЖКИ.

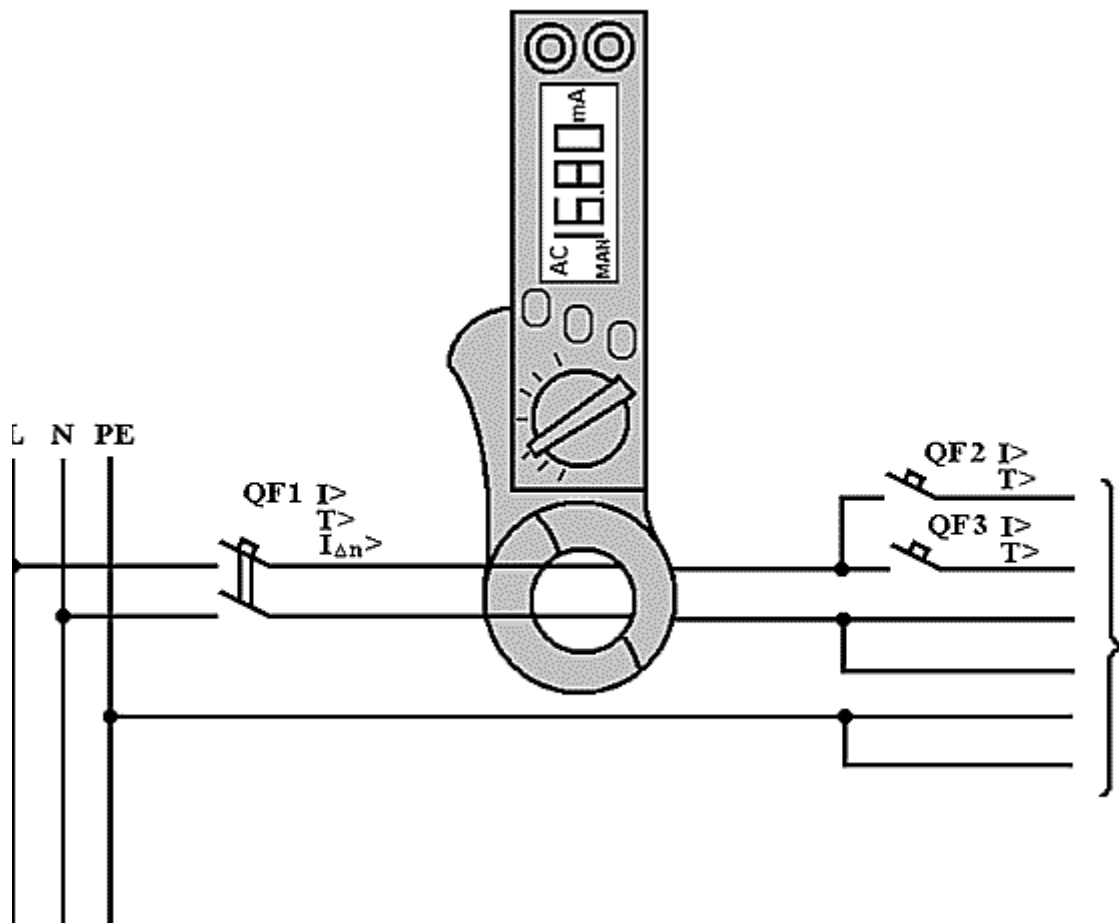


Рис. 4.3. Измерение токов утечки электрооборудования с помощью прибора CM-03

Нажатием кнопки HOLD (рис. 4.2) фиксируют результаты измерений. Для регистрации максимальных и минимальных значений токов утечки нажимают кнопку MAX/MIN. Нажатие кнопки в первый раз приведет к высвечиванию и обновлению максимального результата. После повторного нажатия будет высвечиваться минимальное значение. После третьего нажатия прибор вернется в нормальный режим измерений.

Проверка УЗО с помощью приборов серии «MRP» (MRP-110, MRP-200). Указанные приборы производятся фирмой «Sonel» (Польша) и являются многофункциональными электронными приборами [17]. В части, касающейся проверки УЗО, указанные приборы позволяют непосредственно измерять дифференциальный ток и время срабатывания УЗО при $I_{\Delta n}$.

Некоторые технические характеристики приборов MRP-110 MRP-200 приведены в табл. 4.3, табл. 4.4.

Таблица 4.3.

Измерение отключающего синусоидального дифференциального тока I Δ n УЗО

Диапазон дифф. тока (I Δ n)	Диапазон измерений	Диапазон изменения тестового тока	Предел допускаемой погрешности
10 мА	3,3...10 мА	(0,3...1,0) I Δ n	$\pm 8\% \cdot I\Delta n$
30 мА	9...30 мА	(0,3...1,0) I Δ n	$\pm 8\% \cdot I\Delta n$
100 мА	33...100 мА	(0,3...1,0) I Δ n	$\pm 8\% \cdot I\Delta n$
300 мА	90...300 мА	(0,3...1,0) I Δ n	$\pm 8\% \cdot I\Delta n$
500 мА	150...500 мА	(0,3...1,0) I Δ n	$\pm 8\% \cdot I\Delta n$

Таблица 4.4.

Контроль УЗО и измерение времени t_A отключения

Тип УЗО	Диапазон измерений	Разрешение	Основная погрешность
Общий тип	0..200 мс	1 мс	± 3 мс
Специальный	0..500 мс	1 мс	± 3 мс

Для измерения отключающего дифференциального тока УЗО необходимо:

1. Присоединить L-проводник прибора к фазному провод-нику сети, РЕ-проводник прибора – к нулевому защитному проводнику сети на выходе проверяемого УЗО (рис. 4.4).

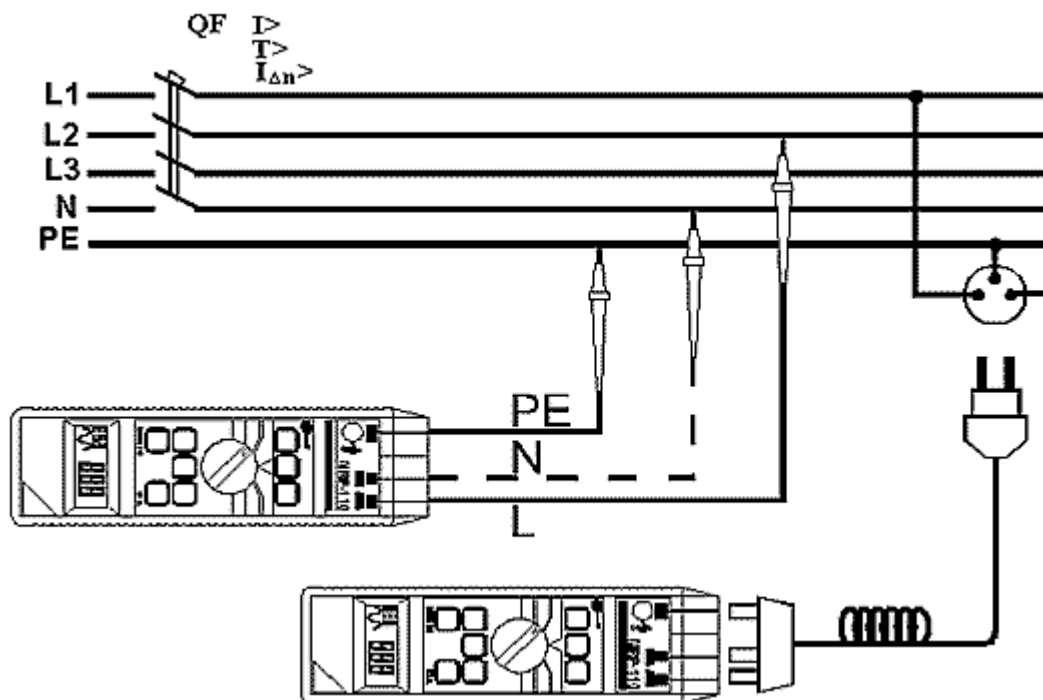



Рис. 4.4. Проверка УЗО с помощью прибора MRP-110

2. Включить УЗО.

3. Включить прибор кнопкой «».

4. Установить переключатель вида измерений в положение « U_B, I_A ».

5. Нажать кнопку «S» (для УЗО с выдержкой времени срабатывания).

6. Кнопкой « $I_{\Delta n}$ » установить верхний предел дифференциального отключающего тока проверяемого УЗО.

7. Нажатием кнопки «START» произвести измерение.

После срабатывания УЗО на дисплее высветится величина отключающего дифференциального тока. Если после срабатывания УЗО на дисплее высветилось значение напряжения (в этом положении прибор также определяет напряжение прикосновения, U_B), то нажатием кнопки «SEL» нужно высветить на дисплее величину отключающего дифференциального тока проверяемого УЗО. Для измерения времени срабатывания УЗО следует:

1. Аналогично присоединить прибор к сети, включить УЗО и прибор.

2. Установить переключатель вида измерений в положение « R_E, t_A ».

3. Нажать кнопку «S» (для УЗО с выдержкой времени срабатывания).

4. Кнопкой « $I_{\Delta n}$ » установить номинальный дифференциальный отключающий ток проверяемого УЗО.

5. Нажатием кнопки «START» произвести измерение.

После срабатывания УЗО на дисплее высветится время срабатывания УЗО при установленном $I_{\Delta n}$. Если на дисплее высветилось значение сопротивления (в данном режиме измерений прибор дополнительно измеряет сопротивление заземляющего устройства с учетом сопротивления РЕ-проводника), то нажатием кнопки «SEL» нужно высветить на дисплее время срабатывания УЗО при установленном $I_{\Delta n}$.

Пример измерения дифференциального отключающего тока УЗО и токов утечки групповых линий сети.

Измерение дифференциального отключающего тока двухполюсного АВДТ серии DA29 (производитель - АОЗТ «ДЗНВА» г. Дивногорск) с номинальным отключающим током $I_{\Delta n}=30$ мА, предназначенного для защиты двух групповых линий сети, установленного перед автоматическими выключателями этих линий, проводилось комбинированным прибором Ц4312 (рис. 4.1).

Класс точности 2,5, предел измерения 30 мА, прибор установлен горизонтально.

При измерении дифференциального отключающего тока УЗО (автоматические выключатели отключены) показания прибора 20 мА ($I'_{\Delta \text{изм}}=20$ мА).

При измерении отключающего тока УЗО с учетом токов утечки сети (автоматические выключатели включены) показания прибора – 12 мА ($I'_{\Delta \text{изм}}=12$ мА).

Погрешность измерений определяют по формуле

$$\delta_{\square} = \gamma \frac{A_{\text{пр}}}{A_{\text{изм}}}, \quad (4.2)$$

где γ - класс точности (или погрешность) прибора;

$A_{\text{пр}}$ – предел измерения прибора;

$A_{\text{изм}}$ – показания прибора в единицах измерения.

В первом случае

$$\delta_{\square} = \pm 2,5 \frac{30}{20} = \pm 3,75\%, \text{ а } I_{\Delta} = 20 \pm 0,75 \text{ мА,}$$

что удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 51356-1-99

$(0,5 I_{Dn} < I_D \leq I_{Dn})$.

Во втором случае

$$\delta_0 = \pm 2,5 \frac{30}{12} = \pm 6,25\% , \text{ а } I_D = 12 \pm 0,75 \text{ мА},$$

а ток утечки сети $I_{ут} = I_D - I_D' = 8 \pm 1,5 \text{ мА}$, что также удовлетворяет требованиям нормативных документов (п. 7.1.83 ПУЭ), а именно: ток утечки сети не должен превышать одной трети номинального дифференциального отключающего тока УЗО.

Результаты измерений оформляются протоколом, форма которого прилагается.

Порядок выполнения работы

1. Разработайте принципиальную схему испытаний УЗО с использованием токовых клещей для измерения токов утечки СМ-03, переменного резистора, переключателей и секундомера.
2. Соберите схему испытаний УЗО на лабораторном стенде. Проведите испытания УЗО.
3. Проведите испытания УЗО с помощью прибора MRP (рис. 4.4).
4. Занесите результаты испытаний УЗО в протокол.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема испытаний УЗО с использованием токовых клещей для измерения токов утечки СМ-03, переменного резистора, переключателей и секундомера.
3. Протокол проверки УЗО.

Контрольные вопросы к работе

1. Расскажите принцип действия УЗО и перечислите основные

преимущества АВДТ по сравнению с автоматическими выключателями.

2. Почему автоматический выключатель для питания однофазной нагрузки выполнен однополюсным, а УЗО - двухполюсное?

3. Перечислите, по каким признакам классифицируются УЗО и расскажите, для чего указанный вид УЗО предназначен.

4. В чем состоит основное различие между выключателем дифференциального тока и автоматическим выключателем дифференциального тока?

5. Для чего предназначены УЗО типа "S"?

6. Чему должен быть равен неотключающий дифференциальный ток УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током 0,01 А?

7. Как с помощью токовых клещей для измерения токов утечки СМ-03 измерить ток утечки электродвигателя на землю?

8. Для чего, как и с какой периодичностью производят тестирование УЗО?

9. Расскажите порядок проведения испытаний расцепителя дифференциального тока УЗО.

10. Какую величину не должен превышать фоновый ток утечки линии, защищаемой УЗО?

Лабораторно-практическая работа

Тема: Испытания изоляции электропроводок, силовых кабельных линий, электрических машин

Цель работы

Задания к работе

Общие сведения

5.1. Организационные мероприятия при проведении испытаний

электроустановок

5.2. Технические мероприятия при проведении испытаний

электроустановок

5.3. Нормируемые величины

5.4. Приборы и установки для испытания электрооборудования
повышенным напряжением

5.4.1. Универсальная пробойная установка УПУ-5М

5.4.2. Аппарат для испытания изоляции силовых кабелей и
твердых диэлектриков АИД 70/50

5.4.3. Малогабаритная испытательная установка МИУ-60

5.4.4. Установка для испытания изоляции кабелей УИ-70

5.5 Порядок проведение испытаний изоляции повышенным
напряжением

5.6. Порядок проведения испытаний установкой АИД-70

5.6.1. Подготовка испытаний

5.6.2. Проведение испытаний

5.7. Оформление результатов испытаний

Порядок выполнения работы

Содержание отчета

Цель работы

Изучить порядок и правила проведения испытаний электропроводок, силовых кабельных линий, электрических машин, вторичных цепей и электрических аппаратов повышенным напряжением промышленной частоты.

Получить практические навыки проведения испытаний электропроводок, силовых кабельных линий, электрических машин, вторичных цепей и электрических аппаратов повышенным напряжением промышленной частоты.

Ознакомиться с приборами и схемами для испытания электрооборудования повышенным напряжением.

Задания к работе

1. Изучить объемы и сроки испытаний электропроводок, силовых кабельных линий, электрических машин, вторичных цепей и электрических аппаратов повышенным напряжением промышленной частоты.

2. Изучить методики проведения испытаний электропроводок, силовых кабельных линий, электрических машин, вторичных цепей и

электрических аппаратов повышенным напряжением промышленной частоты.

3. Провести испытания электропроводки или силовой кабельной линии, электродвигателя, вторичных цепей шкафа управления и электрических аппаратов повышенным выпрямленным напряжением мегаомметрами типа Ф4102 и ЭСО202, в соответствии с заданием преподавателя.

4. Заполнить протоколы испытания электропроводки, силовой кабельной линии, электродвигателя, вторичных цепей шкафа управления и электрических аппаратов повышенным напряжением промышленной частоты.

Общие сведения [1]

Испытания изоляции повышенным напряжением позволяют выявить локальные дефекты, не обнаруживаемые иными методами; кроме того, такой метод испытаний является прямым способом контроля способности изоляции выдерживать воздействия перенапряжений и дает определенную уверенность в качестве изоляции. К изоляции прикладывается испытательное напряжение, превышающее рабочее напряжение, и нормальная изоляция выдерживает испытания, а дефектная пробивается.

При испытаниях повышенным напряжением используются три основных вида испытательных напряжений: повышенное напряжение промышленной частоты, выпрямленное постоянное напряжение и импульсное испытательное напряжение (стандартные грозовые импульсы).

Основным видом испытательного напряжения является **напряжение промышленной частоты**. **Время приложения** такого напряжения - 1 мин, и **изоляция считается выдержавшей испытания**, если за это время не наблюдалось пробоя или частичных повреждений изоляции. В некоторых случаях проводят испытания напряжением повышенной частоты (обычно 100 или 250 Гц).

При большой емкости испытуемой изоляции (при испытании кабелей, конденсаторов) требуется применение испытательной аппаратуры большой мощности, поэтому такие объекты чаще всего испытываются повышенным постоянным напряжением. Как правило, при постоянном напряжении диэлектрические потери в изоляции, приводящие к ее нагреву, на несколько порядков ниже, чем при переменном напряжении такого же эффективного значения; кроме того,

и интенсивность частичных разрядов намного ниже. При таких испытаниях нагрузка на изоляцию существенно меньше, чем при испытаниях переменным напряжением, поэтому для пробоя дефектной изоляции требуется более высокое постоянное напряжение, чем испытательное переменное напряжение.

При испытаниях постоянным напряжением дополнительно контролируется ток утечки через изоляцию. Время приложения постоянного испытательного напряжения составляет от 5 до 15 мин. Изоляция считается выдержавшей испытания, если она не пробилась, а значение тока утечки к концу испытаний не изменилось или снизилось.

Третьим видом испытательного напряжения являются стандартные грозовые импульсы напряжения с фронтом 1,2 мкс и длительностью до полуспада 50 мкс. Испытания импульсным напряжением производят потому, что изоляция в процессе эксплуатации подвергается воздействию грозовых перенапряжений со схожими характеристиками. Воздействие грозовых импульсов на изоляцию отличается от воздействия напряжения частотой 50 Гц из-за гораздо большей скорости изменения напряжения, приводящей к другому распределению напряжения по сложной изоляции типа изоляции трансформаторов; кроме того, сам процесс пробоя при малых временах отличается от процесса пробоя на частоте 50 Гц, что описывается вольт-секундными характеристиками. По этим причинам испытаний напряжением промышленной частоты в ряде случаев оказывается недостаточно.

Воздействие грозовых перенапряжений на изоляцию часто сопровождается срабатыванием защитных разрядников, срезающих волну перенапряжения через несколько микросекунд после ее начала, поэтому при испытаниях используют импульсы срезанные через 2-3 мкс после начала импульса (срезанные стандартные грозовые импульсы). Амплитуда импульса выбирается исходя из возможностей оборудования, защищающего изоляцию от перенапряжений, с некоторыми запасами, и исходя из возможности накопления скрытых дефектов при многократном воздействии импульсных напряжений. Конкретные величины испытательных импульсов определяются по ГОСТ 1516.1-76.

Испытания внутренней изоляции проводят 3-х ударным методом. На объект подается по три импульса положительной и отрицательной полярности, сначала полные, а затем срезанные. Интервал времени между импульсами - не менее 1 мин. Изоляция считается выдержавшей испытания, если во время испытания не произошло ее пробоев и не обнаружено повреждений. Методика обнаружения повреждений довольно сложна и обычно проводится осциллографическими

методами.

Внешняя изоляция оборудования испытывается 15-и ударным методом, когда к объекту с интервалом не менее 1 мин. прикладывается по пятнадцать импульсов обеих полярностей, как полных, так и срезанных. Изоляция считается выдержавшей испытания, если в каждой серии из пятнадцати импульсов было не более двух полных разрядов (перекрытий).

Все виды испытаний можно разделить на три основные группы, различающиеся по назначению и, соответственно, по объему и нормам:

- испытания новых изделий на заводе-изготовителе;
- испытания после прокладки или монтажа нового оборудования, испытания после капитального ремонта;
- периодические профилактические испытания.

При профилактических или послеремонтных испытаниях проверяется способность изоляции проработать без отказа до следующих очередных испытаний. Контроль изоляции повышенным напряжением дает только косвенную оценку длительной электрической прочности изоляции, и основная его задача - проверка отсутствия грубых сосредоточенных дефектов.

Испытательные напряжения для нового оборудования на заводах-изготовителях определяется ГОСТ 1516.2-97, а при профилактических испытаниях величины испытательных напряжений принимаются на 10-15% ниже заводских норм. Этим снижением учитывается старение изоляции и ослабляется опасность накопления дефектов, возникающих при испытаниях.

Контроль изоляции повышенным напряжением в условиях эксплуатации проводится для некоторых видов оборудования (вращающиеся машины, силовые кабели) с номинальным напряжением **не выше 35 кВ**, поскольку при более высоких напряжениях испытательные установки слишком громоздки.

Кабели. Испытательные напряжения для кабелей устанавливаются в соответствии с ожидаемым уровнем внутренних и грозовых перенапряжений.

На заводах-изготовителях маслonaполненные кабели и кабели с маловязкой пропиткой испытывают повышенным напряжением промышленной частоты (около $2,5 U_{\text{ном}}$). Кабели с вязкой пропиткой и газовые кабели для предотвращения повреждения изоляции испытывают выпрямленным напряжением порядка $(3,5..4) U_{\text{ном}}$, где $U_{\text{ном}}$ - линейное напряжение при рабочих напряжениях 35 кВ и менее.

Кроме того, измеряют сопротивление изоляции, а при рабочих напряжениях 6 кВ и более измеряют сопротивление изоляции и $\text{tg}\delta$.

После прокладки кабеля, после капитального ремонта и во время профилактических испытаний изоляцию кабелей испытывают повышенным выпрямленным напряжением. Время испытаний для кабелей напряжением 3...35 кВ составляет 10 мин для кабелей после прокладки и 5 мин после капитального ремонта и во время профилактических испытаний. Периодичность профилактических испытаний составляет от двух раз в год до 1 раза в три года для разных кабелей. При испытаниях контролируется ток утечки, значения которого лежат в пределах от 150 до 800 мкА/км для нормальной изоляции. До и после испытаний измеряется сопротивление изоляции.

Силовые трансформаторы. На заводе-изготовителе внутренняя и внешняя изоляция испытывается полными и срезанными стандартными грозовыми импульсами, а также повышенным переменным напряжением промышленной частоты. Обнаружение повреждений продольной изоляции чаще всего проводят осциллографированием тока в нейтрали трансформатора и сравнением осциллограммы с типовой.

Если изоляция нейтрали и линейного вывода одинаковы, то при испытаниях повышенным переменным напряжением оба конца испытуемой обмотки изолируются, и на обмотку подается напряжение от постороннего источника. Если уровень изоляции нейтрали понижен, то испытания проводятся индуктированным напряжением повышенной частоты (до 400 Гц) с тем, чтобы можно было бы подавать напряжение порядка $2 U_{\text{ном}}$. Нейтраль при этом заземляется или на нее подается постороннее напряжение той же частоты. Поскольку ЭДС самоиндукции в обмотке пропорциональна частоте, то при той же максимальной индукции можно приложить повышенное, по сравнению с рабочим, испытательное напряжение.

При испытаниях изоляции должна быть испытана поочередно каждая электрически независимая цепь или параллельная ветвь (в последнем случае - при наличии полной изоляции между ветвями), а испытательное напряжение прикладывается между выводом и заземленным корпусом, все другие обмотки заземляются. Измерения сопротивления изоляции проводят до и после испытаний повышенным напряжением.

Перед первым включением вновь смонтированного трансформатора измеряют пробивное напряжение трансформаторного масла, сопротивление изоляции и коэффициент абсорбции, отношение C_2/C_{50} , $\text{tg}\delta$ (значение которого сравнивают с результатами заводских

испытаний).

Во время периодических профилактических испытаний проводят те же испытания, что и перед первым включением, но допустимые значения $\tan \delta$ при этом увеличены. Испытания изоляции повышенным напряжением при профилактических испытаниях предполагаются для обмоток напряжением до 35 кВ, значения испытательных напряжений при этом снижаются до 0,85-0,9 значения заводского испытательного напряжения.

Периодичность профилактических испытаний для разных трансформаторов колеблется от 1 раза в год до 1 раза в 4 года.

Вводы высокого напряжения. Основной вид контроля - периодический осмотр (от одного раза в трое суток до одного раза в шесть месяцев), также измеряют сопротивление изоляции между специальной измерительной обкладкой ввода и соединительной втулкой. Периодичность таких испытаний для разных вводов разная, но не реже одного раза в 4 года.

5.1. Организационные мероприятия при проведении испытаний электроустановок

Испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением проводятся по наряду-допуску бригадой, численным составом не менее двух человек, один из которых (производитель работ) должен иметь не ниже IV группы по электробезопасности, второй (член бригады) – не ниже III.

Член бригады, которому поручается охрана, должен иметь II группу по электробезопасности.

Испытательные установки (электролаборатории) должны быть зарегистрированы в органах Ростехнадзора.

Особое внимание следует обратить на недопустимость одновременного проведения испытаний и других работ разными бригадами в пределах одного присоединения.

5.2. Технические мероприятия при проведении испытаний электроустановок

Перечень необходимых технических мероприятий определяет лицо, выдающее наряд в соответствии с разделами 3 и 5 МПБЭЭ [4].

Особое внимание следует обратить на следующие мероприятия:

- при сборке испытательной цепи, прежде всего, выполняются защитное и рабочее заземление испытательной установки, и если потребуется, защитное заземление корпуса испытываемого оборудования.
- присоединение испытательной установки к сети напряжением 380/220В производится через коммутационный аппарат с видимым разрывом цепи или через штепсельную вилку, расположенную на месте управления установкой.
- присоединение испытательной установки к испытываемому электрооборудованию и отсоединение ее, а также наложение и снятие переносных заземлений производятся каждый раз только по указанию руководителя испытаний одним и тем же членом бригады и выполняются в диэлектрических перчатках;
- провода, кабели, перемычки, которыми выполняются временные соединения при сборке испытательной схемы, должны четко отличаться от стационарных соединений электрооборудования;
- место испытаний, временные соединения, испытываемые цепи и аппараты должны быть ограждены и выставлен наблюдающий, двери помещений, в которых находятся противоположные концы испытываемых кабелей, должны быть заперты, на ограждениях и дверях должны быть вывешены плакаты: «Испытания, опасно для жизни». Если двери не заперты, должна быть выставлена охрана из членов бригады, имеющих II группу по электробезопасности.

5.3. Нормируемые величины [1]

Испытания электрооборудования повышенным напряжением проводятся перед приемкой в эксплуатацию, в сроки, предусмотренные графиком планово-предупредительных ремонтов и профилактических испытаний электрооборудования.

Нормы, условия испытаний и порядок их проведения представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Нормы, условия испытаний повышенным напряжением и указания их проведению

Объект испытания	Нормы испытания	Указания
------------------	-----------------	----------

1	2	3
1. Изоляция обмоток и токоведущих частей кабеля ручного электроинструмента относительно корпуса и наружных металлических деталей	Для электроинструмента напряжением до 50 В испытательное напряжение – 550 В, для электроинструмента напряжением выше 50 В, мощностью до 1 кВт - 900 В, мощностью более 1кВт - 1350 В. Время испытаний - 1 мин.	У электроинструмента корпус и соединенные с ним детали, выполненные из диэлектрического материала, должны быть обернуты металлической фольгой и соединены с заземлителем. Если сопротивление изоляции не менее 10МОм, то испытание изоляции повышенным напряжением можно заменить одномоментным измерением сопротивления изоляции мегаомметром, напряжением 2500 В
2. Изоляция обмоток понижающих трансформаторов	При номинальном напряжении первичной обмотки трансформатора 127 - 220В испытательное напряжение 1350 В, при номинальном напряжении первичной обмотки 380 - 440 В испытательное напряжение 1800 В. Длительность испытаний - 1 мин.	Испытательное напряжение прикладывается поочередно к каждой из обмоток. При этом остальные обмотки должны быть соединены с заземленным корпусом и магнитопроводом
3. Изоляция распределительных устройств, элементов приводов выключателей,	Испытательное напряжение 1000 В. Продолжительность испытаний – 1 мин.	Допускается вместо испытаний напряжением промышленной частоты

короткозамыкателей, отделителей, аппаратов, а также вторичных цепей управления, защиты, автоматики, телемеханики, измерения со всеми присоединительными аппаратами, напряжением выше 60В, не содержащих устройств с микроэлектронными элементами		одноминутное измерение сопротивления изоляции мегаомметром, напряжением 2500 В, кроме цепей релейной защиты и автоматики
4. Изоляция силовых и осветительных электропроводок	Испытательное напряжение 1000 В. Продолжительность испытаний – 1 мин.	Производится случае, если измеренное сопротивление изоляции оказалось меньше 1 МОм
5. Кабели напряжением до 10 кВ	Испытательное напряжение в зависимости от номинального рабочего, кВ, для кабелей: – с бумажной изоляцией 2 – 12 (10 – 17); 3 – 18 (15 – 25); 6 – 36 (36); 10 – 60 (60). – с резиновой изоляцией 3 – 6 (6) 6 – 12 (12) 10 – 20 (20) Без скобок указанные значения испытательных напряжений при приемосдаточных испытаниях, в	

	<p>скобках – при эксплуатационных. Длительность приложения испытательного напряжения при приемо-сдаточных испытаниях – 10 мин., при эксплуатационных – 5 мин. Для кабелей с резиновой изоляцией длительность приложения испытательного напряжения при всех видах испытаний – 5 мин.</p>	
--	---	--

5.4. Приборы и установки для испытания электрооборудования повышенным напряжением [4, 18, 19, 20]

Для испытания электрооборудования повышенным напряжением могут быть использованы следующие приборы и установки:

- универсальная пробойная установка УПУ-5М;
- аппарат для испытания изоляции силовых кабелей и твердых диэлектриков АИД 70/50;
- малогабаритная испытательная установка МИУ-60;
- установка для испытания изоляции кабелей УИ-70;
- мегаомметры типа Ф4100, Ф4101, Ф4102 и ЭСО202/2 (Г) с выходным напряжением 2500 В.

Описание и схемы присоединения мегаомметров к испытываемому оборудованию приведены в лабораторной работе №3.

5.4.1. Универсальная пробойная установка УПУ-5М

Предназначена для измерения электрической прочности изоляции при испытании постоянным или переменным напряжением до 6 кВ.

Установка (рис. 5.1) выпускается в двух вариантах исполнения:

- «У» - универсальная (переменное и постоянное напряжение);
- «П» - только переменное напряжение.



Рис. 5.1. Универсальная пробойная установка УПУ-5М

Основные технические характеристики УПУ-5М приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Технические характеристики универсальной пробойной установки УПУ-5М

Параметр	Величина
Диапазон задания выходного напряжения:	
– постоянного, кВ (только для варианта "У")	0,2 – 6
– переменного, кВ	0,2 - 6
Измерение тока утечки, мА	0,1 - 100
Диапазон установки порогового значения	
– напряжения, кВ	0,2 – 6
– тока утечки, мА	1 - 99
Максимальная выходная мощность, не менее, кВА	0,6

5.4.2. Аппарат для испытания изоляции силовых кабелей и твердых диэлектриков АИД 70/50

Аппарат испытательный АИД-70/50 (рис 5.2) предназначен для испытания изоляции силовых кабелей и твердых диэлектриков выпрямленным электрическим напряжением, а также для испытания твердых диэлектриков синусоидальным электрическим напряжением частотой 50 Гц.

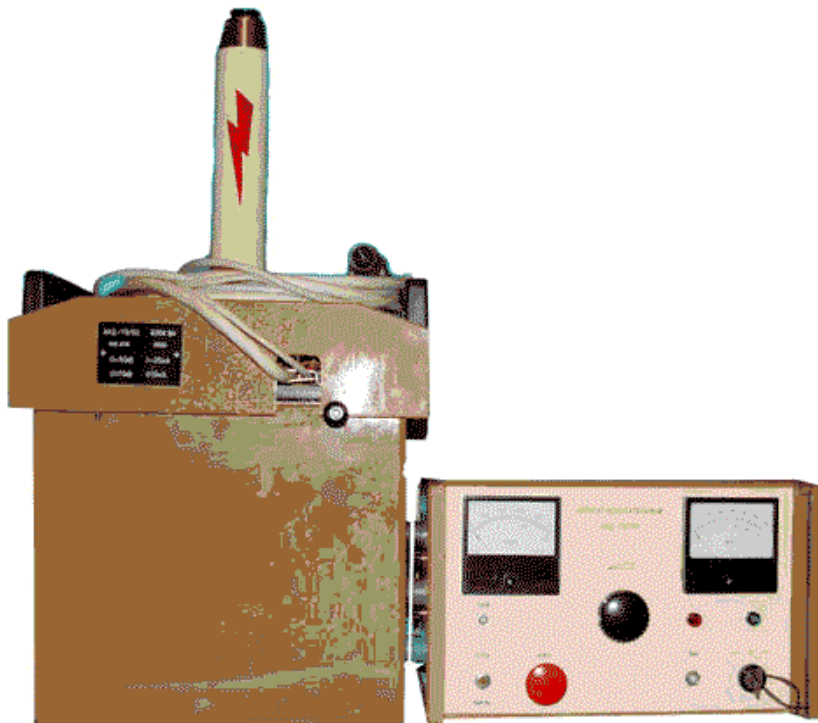


Рис. 5.2. Аппарат для испытания изоляции силовых кабелей и твердых диэлектриков АИД-70/50

Таблица 5.3

Технические характеристики АИД-70/50

Параметр	Величина
Напряжение питающей сети однофазного переменного тока, В	220+11
Параметры аппарата на выпрямленном напряжении в продолжительном режиме при номинальном значении напряжения в сети	
– наибольшее рабочее напряжение, кВ,	70
– максимальный рабочий ток, мА,	12
Параметры аппарата на переменном напряжении в продолжительном режиме при номинальном значении напряжения в сети	
– наибольшее рабочее напряжение (действующее значение), кВ	50
- наибольший рабочий ток (действующее значение), мА	20
Потребляемая мощность, кВА, не более	3

5.4.3. Малогабаритная испытательная установка МИУ-60

Установка МИУ-60 (рис 5.3) предназначена для испытания изоляции силовых электрических кабелей до 10 кВ и твердых диэлектриков выпрямленным испытательным напряжением, и испытания твердых диэлектриков синусоидальным напряжением частотой 50 Гц (табл. 5.4).

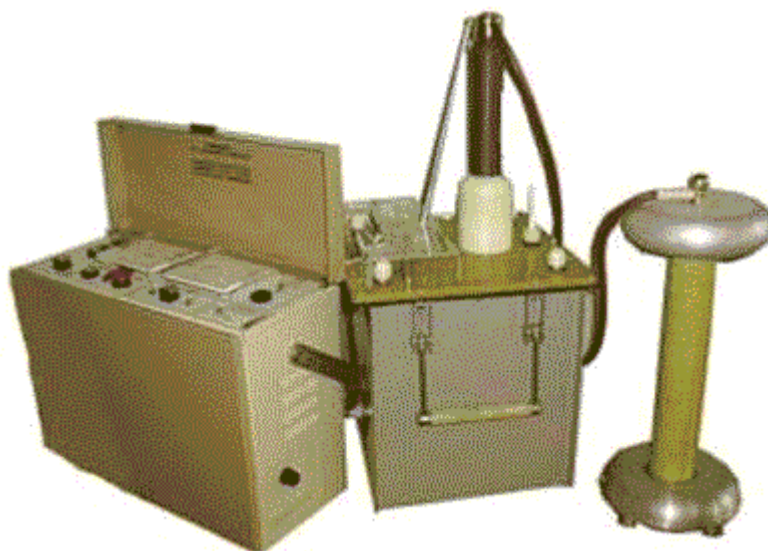


Рис. 5.3. Малогабаритная испытательная установка МИУ-60

Таблица 5.4

Технические характеристики установки МИУ-60

Параметр	Значение
Напряжение питания частотой 50 Гц, В	220 ±22
Параметры установки на выпрямленном напряжении:	
- Наибольшее рабочее напряжение, кВ	60
- Максимальный рабочий ток, мА	40
Параметры установки на переменном напряжении:	
- Наибольшее рабочее напряжение, действующее значение, кВ	50
- Наибольший рабочий ток, действующее значение, мА	40
Максимальная потребляемая мощность, кВА	2

5.4.4. Установка для испытания изоляции кабелей УИ-70

Установка предназначена для профилактических испытаний изоляции электрооборудования постоянным или переменным током (изоляторов, кабелей 6-10 кВ). Установка УИ-70 (рис 5.4) обладает большой мощностью и может использоваться для первичного прожига места повреждения в кабеле, для поддержания дуги в изоляторах ВЛ 6-10 кВ во время поиска повреждения.



Рис. 5.4. Установка УИ-70

Таблица 5.5

Технические характеристики установки УИ-70

Параметр	Значение
Напряжение питающей сети однофазного переменного тока, В	220
Параметры аппарат на выпрямленном напряжении в продолжительном режиме при номинальном значении напряжения сети:	
- Наибольшее рабочее напряжение, кВ	70
- Наибольший рабочий ток, мА	15
Параметры аппарата на переменном напряжении в продолжительном режиме при номинальном значении напряжения сети:	
- Наибольшее рабочее напряжение, кВ	50
- Наибольший рабочий ток, мА	22

Требования по испытаниям изоляции кабелей, трансформаторов и высоковольтных вводов излагаются отдельно для этих трех групп испытаний.

5.5 Порядок проведение испытаний изоляции повышенным напряжением

Измерить сопротивление изоляции испытываемого объекта.

Собрать испытательную схему в следующей последовательности:

- подготовить к работе испытательную установку в соответствии с инструкцией завода-изготовителя;

- наложить переносное заземление на высоковольтный вывод испытательной установки;
- произвести необходимые отключения (отсоединения) испытуемого электрооборудования;
- наложить переносные заземления на испытуемое электрооборудование или включить заземляющие ножи;
- установить регулятор напряжения испытательной установки в положение, соответствующее нулевому значению напряжения на выходе;
- присоединить высоковольтный вывод к испытываемому объекту (шина, кабель, провод, вывод обмотки двигателя, трансформатора и т.д.);
- снять переносное заземление с высоковольтного вывода испытательной установки (с этого момента производить изменения в схеме испытаний категорически запрещено). Все изменения в испытательной схеме производить только при отсоединенном и заземленном высоковольтном выводе;
- включить испытательную установку в сеть.

Перед снятием переносного заземления с высоковольтного вывода и включением испытательной установки в сеть производитель работ обязан громко и отчетливо предупредить бригаду о подаче напряжения на испытываемый объект и убедиться, что его предупреждение услышано всеми членами бригады.

После включения испытательной установки необходимо увеличить выходное напряжение от нуля до испытательного значения. Скорость подъема напряжения до $1/3$ испытательного значения может быть произвольной. После этого скорость подъема испытательного напряжения должна допускать визуальный отсчет по измерительным приборам и по достижении установленного значения напряжения оно должно поддерживаться неизменным в течение требуемого времени испытаний.

По истечении времени испытаний напряжение плавно снижается до нуля, после чего испытательную установку можно отключить. После этого необходимо повторно измерить сопротивление испытанной изоляции.

Испытание изоляции повышенным напряжением позволяет убедиться в наличии необходимого запаса прочности изоляции, отсутствии местных дефектов, не обнаруживаемых другими способами. Испытанию изоляции повышенным напряжением должны предшествовать тщательный осмотр и оценка состояния изоляции другими методами (измерение сопротивления изоляции, определение влажности изоляции и т.п.).

Величина испытательного напряжения для каждого вида оборудования определяется установленными нормами «Правил эксплуатации электроустановок потребителей».

Изоляция считается выдержавшей электрическое испытание повышенным напряжением в том случае, если не было пробоя, перекрытия по поверхности, поверхностных разрядов, увеличения тока утечки выше нормированного значения, наличия местных нагревов от диэлектрических потерь. В случае несоблюдения одного из этих факторов - изоляции электрического испытания не выдержала.

Типовая схема испытания изоляции электрооборудования повышенным переменным напряжением представлена на рисунке 5.5.

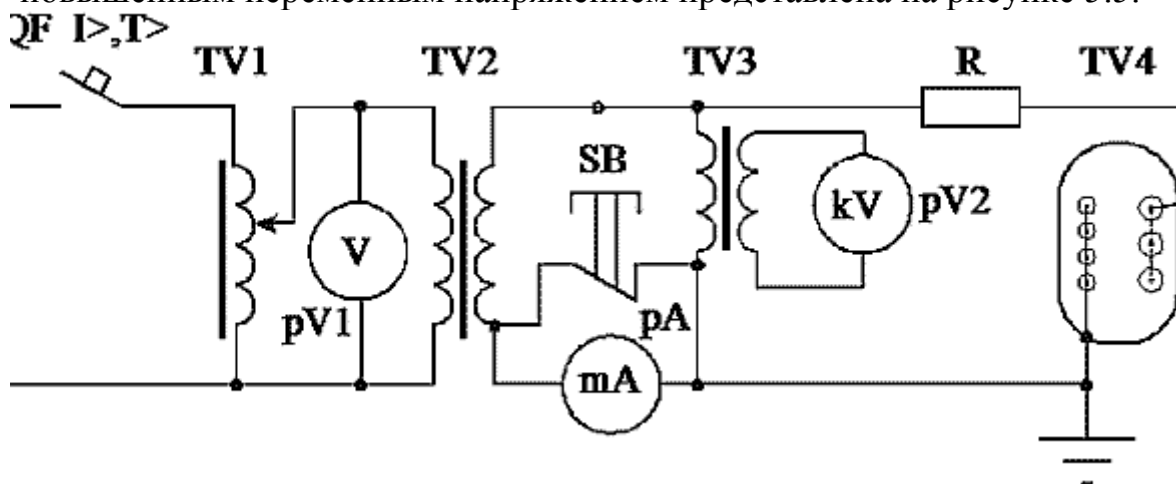


Рис. 5.5. Схема испытания изоляции электрооборудования повышенным переменным напряжением

Испытательная установка состоит из регулирующего устройства TV1 (автотрансформатора), повышающего трансформатора TV2, аппарата защиты QF (автоматического выключателя), средств измерения тока и напряжения pV1, pV2, pA и дополнительного сопротивления R, который необходим для защиты установки при пробое изоляции испытуемого объекта.

Измерение напряжения может производиться как косвенным методом - с применением специальных измерительных трансформаторов TV3, при этом измерительный трансформатор TV3 и вольтметр pV2 включаются во вторичную цепь повышающего трансформатора (на рисунке 5.5 таким образом включен вольтметр V, проградуированный в кВ), так и методом прямого измерения испытательного напряжения непосредственно на испытуемом объекте - с применением киловольтметров (применение измерительного трансформатора TV3 в данном случае не требуется).

Автоматический выключатель QF предназначен для быстрого отключения испытательной установки при возникновении большого тока через регулирующий трансформатор в момент пробоя изоляции. Таким образом, этот автоматический выключатель ограничивает время воздействия испытательного напряжения на объект при пробое изоляции и защищает испытательную установку от повреждения.

Для испытания изоляции постоянным (выпрямленным) напряжением используют испытательные установки, которые схематично аналогичны установкам для испытания изоляции повышенным напряжением промышленной частоты, только в схему вводят выпрямительное устройство. Примерная схема испытательной установки для проведения испытаний с использованием постоянного тока представлена на рисунке 5.6.

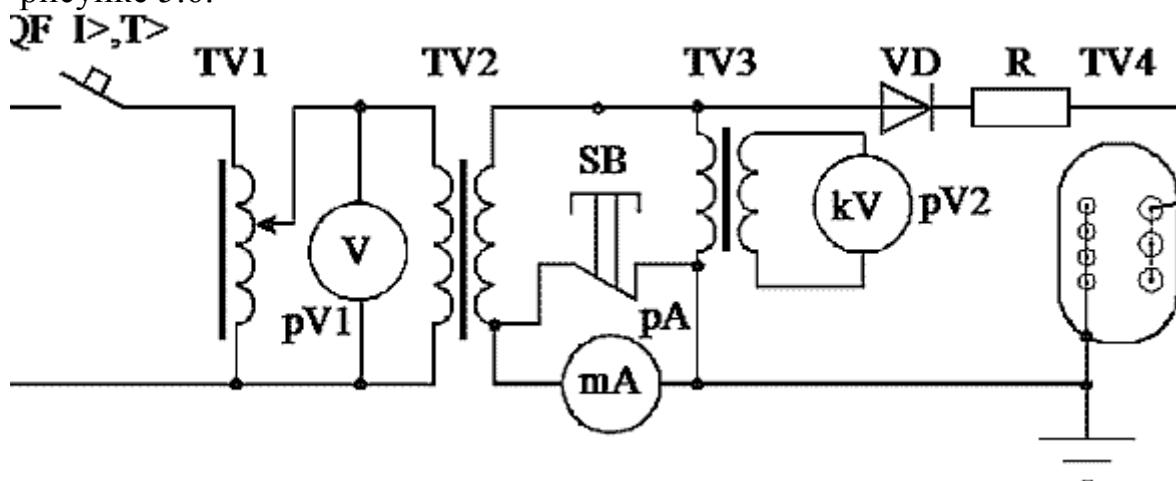


Рис. 5.6. Схема испытания изоляции электрооборудования повышенным постоянным напряжением

5.6. Порядок проведения испытаний установкой АИД-70

5.6.1. Подготовка испытаний

Установить источник испытательного напряжения (в дальнейшем - источник) вблизи испытуемого объекта. Подсоединить объект к высоковольтному выводу источника.

Заземлить источник прилагаемым к аппарату гибким медным проводом, сечение которого 4 мм^2 .

Кабели источника подсоединить к соответствующим разъемам пульта управления.

Удалить пульт управления аппарата от источника на расстоянии не менее 3м.

Подключить пульт управления к питающей сети и заземлить его при помощи прилагаемого к аппарату сетевого кабеля.

РАБОТА БЕЗ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЗАПРЕЩАЕТСЯ.

5.6.2. Проведение испытаний

Лица, присутствующие при испытании, должны быть удалены от источника и испытуемого объекта на расстоянии не менее 3м.

Вставить спецключ от аппарата в переключатель пульта управления и включить необходимый вид испытательного напряжения, при этом должен загореться зеленый сигнал.

При работе на выпрямленном напряжении во избежание выхода из строя источника, а также для правильного измерения величины испытательного напряжения, строго следить за положением тумблера «кV».

Вращая ручку регулятора испытательного напряжения против часовой стрелки, установить ее в исходное положение до упора.

Включить испытательное напряжение кнопкой, при этом должен загореться красный сигнал.

Вращая ручку регулятора испытательного напряжения по направлению движения часовой стрелки и наблюдая за показаниями киловольтметра, установить необходимую величину испытательного напряжения.

При испытании емкостных объектов необходимо помнить, что после прекращения вращения ручки регулятора напряжения испытательное напряжение на объекте продолжает увеличиваться (стрелка киловольтметра продолжает отклоняться) по мере зарядки емкости.

В таких случаях подъем напряжения надо осуществлять медленно и плавно, не допуская превышения нормированной величины испытательного напряжения на объекте, а также не допуская превышения наибольшего рабочего напряжения аппарата, равного 70 кВ.

При работе на выпрямленном испытательном напряжении измерение тока нагрузки величиной до 1 мА следует производить микроамперметром, при этом следует нажать кнопку, шунтирующую этот прибор.

После окончания испытания необходимо ручку регулятора испытательного напряжения, вращая ее против движения часовой стрелки, установить в исходное положение до упора.

Кнопкой отключить испытательное напряжение и только после этого отключить аппарат от сети спецключом, установив его в положение 0.

Контроль за снятием остаточного емкостного заряда с испытуемого объекта необходимо осуществлять, наблюдая за показанием киловольтметра аппарата - стрелка киловольтметра должна стоять на числовой отметке шкалы 0.

В случае испытания выпрямленным напряжением, равным 70 кВ, емкостного объекта с величиной емкости более 4 мкФ, после окончания испытания и установленной ручки регулятора напряжения в исходное положение до упора, остаточный заряд с объекта необходимо снимать при помощи специальной разрядной штанги с ограничительным сопротивлением, затем кнопкой отключить испытательное напряжение и только после этого отключить аппарат от сети спецключом.

Применение специальной разрядной штанги исключает выход из строя вторичной обмотки высоковольтного трансформатора.

При испытании емкостных объектов выпрямленным напряжением ниже 70 кВ, величина максимально допустимой емкости испытуемого объекта, без применения специальной разрядной штанги, должна определяться по формуле:

$$C = 19600 / U^2, \quad (5.1)$$

где C - максимально допустимая емкость испытуемого объекта без применения специальной разрядной штанги, мкФ;

U - испытательное напряжение, кВ.

5.7. Оформление результатов испытаний

Результаты испытаний повышенным напряжением считаются удовлетворительными, если в течение времени испытаний не было скользящих разрядов, толчков тока утечки или нарастания установившегося значения тока, пробоев или перекрытий изоляцией и сопротивление изоляции после испытаний повышенным напряжением осталось прежним. Следует помнить, что испытаниям, повышенным напряжением должен предшествовать тщательный внешний осмотр испытываемого оборудования. Если в результате осмотра выявлены

явные дефекты изоляции, то независимо от результатов испытаний данное электрооборудование подлежит ремонту или замене.

Результаты испытаний оформляются протоколом, форма которого прилагается.

(см. протокол "Испытание изоляции повышенным напряжением")

Порядок выполнения работы

1. Изучите объемы и сроки испытаний электроустановок, повышенным напряжением промышленной частоты (таблица 5.1).

2. Изучите методики проведения испытаний электроустановок повышенным напряжением.

3. Провести испытания электроустановки (электропроводки или силовой кабельной линии, электродвигателя, вторичных цепей шкафа управления и электрических аппаратов) повышенным выпрямленным напряжением мегаомметрами типа Ф4102 и ЭСО202, в соответствии с заданием преподавателя.

4. Заполните протокол испытания электроустановки (электропроводки или силовой кабельной линии, электродвигателя, вторичных цепей шкафа управления и электрических аппаратов) повышенным постоянным напряжением.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.

2. Схема испытания повышенным переменным напряжением (рис. 5.5).

3. Схема испытания повышенным постоянным напряжением электрооборудования (указанного преподавателем) при помощи мегаомметра с выходным напряжением 2500 В.

4. Протоколы проверки испытания изоляции повышенным напряжением.

Контрольные вопросы к работе 5

1. Зачем испытывают изоляцию электрооборудования повышенным напряжением?

2. Назовите основные виды испытательных напряжений и их

особенности.

3. Каковы основные принципы испытаний изоляции повышенным напряжением?

4. Как испытывают изоляцию повышенным выпрямленным напряжением?

5. Какова методика испытаний изоляции повышенным импульсным напряжением?

6. Перечислите организационные мероприятия при проведении испытаний электроустановок.

7. Перечислите технические мероприятия при проведении испытаний.

8. Зависит ли испытательное напряжение изоляции обмоток трансформаторов от номинального напряжения трансформатора?

9. Назовите нормы для испытания электроинструмента.

10. Назовите приборы или устройства для испытания изоляции силовых кабелей и твердых диэлектриков.

11. Как провести измерения сопротивления автоматического выключателя?

12. Расскажите порядок проведения испытаний установкой АИД-70.

Лабораторно-практическая работа

Тема: Проверка согласования параметров цепи «фаза-нуль» с характеристиками защитных аппаратов.

Цель работы

Задания к работе

6.1. Общие сведения

6.1.1. Цель проведения измерений

6.1.2. Организационные мероприятия

6.1.3. Технические мероприятия

6.1.4. Нормируемые величины

6.1.5. Применяемые приборы

6.2. Измерение полного сопротивления петли «фаза-нуль»

6.2.1. Измерение с использованием отдельного источника питания

6.2.2. Измерение при наличии напряжения питающей сети прибором

М-417

6.3. Измерение токов однофазных замыканий

6.3.1. Измерение с помощью прибора Щ41160

6.3.2. Измерения с помощью прибора MZC-303 E

6.3.2.1. Подключение прибора к тестируемой электроустановке

6.4. Оценка качества монтажа сетей по результатам измеренных параметров цепи «фаза-нуль»

6.5. Оформление результатов испытаний

6.6. Порядок выполнения работы

Содержание отчета

Цель работы

Изучить порядок и правила проведения измерений сопротивления петли «фаза-нуль» и токов однофазных замыканий.

Получить практические навыки измерения сопротивления петли «фаза-нуль» и токов однофазных замыканий.

Задания к работе

1. Изучить методики измерений сопротивления петли «фаза-нуль» и токов однофазных замыканий различными приборами.

2. Ознакомиться с измерительными приборами М-417, «Вымпел», Щ41160, ЭК0200, MZC-303E (серия приборов MZC-300).

3. Провести измерения сопротивления петли «фаза-нуль» и тока однофазного замыкания указанными преподавателем электроустановки и прибором.

4. Оценить и обработать результаты измерений, заполнить протокол проверки согласования параметров цепи «фаза-нуль» с характеристиками аппаратов защиты и непрерывности защитных проводников.

6.1. Общие сведения

6.1.1. Цель проведения измерений

Измерения сопротивления петли «фаза-нуль» и токов однофазных замыканий проводится с целью проверки временных параметров срабатывания устройств защиты электрооборудования от сверхтоков при замыкании фазы на корпус.

По измеренному полному сопротивлению петли «фаза-нуль» определяется ток короткого однофазного замыкания. По полученной расчетом величине этого тока определяется время срабатывания защитного аппарата. При прямых измерениях токов однофазных замыканий время срабатывания защитного аппарата определяется по измеренной величине этого тока.

Это время должно удовлетворять требованиям п. 1.7.79 ПУЭ по защите от поражения электрическим током при косвенных прикосновениях путем автоматического отключения питания.

6.1.2. Организационные мероприятия

Работы по измерению полного сопротивления петли «фаза-нуль» и токов однофазных замыканий выполняются по наряду-допуску или по распоряжению. Вид оформления работ определяет работник, имеющий право выдачи нарядов и распоряжений. Состав бригады должен быть не менее двух человек:

- производитель работ с группой по электробезопасности не ниже III;
- член бригады с группой по электробезопасности не ниже III.

6.1.3. Технические мероприятия

Перечень необходимых технических мероприятий при проведении измерений определяет лицо, выдающее наряд или распоряжение в зависимости от используемого метода измерения.

При измерении полного сопротивления петли «фаза-нуль» со снятием напряжения с использованием отдельного регулируемого источника сверхнизкого напряжения (СНН) перечень технических мероприятий определяется разделом 3 МПБЭЭ [4].

При измерениях без снятия напряжения, как полного сопротивления цепи «фаза-нуль», так и тока однофазного замыкания перечень необходимых технических мероприятий определяется пп. 1.4.5; 1.4.6; 1.4.7; 1.4.11. указанных Правил.

6.1.4. Нормируемые величины

Измерения сопротивления петли «Фаза-нуль» и токов однофазных замыканий проводятся:

- перед приемкой электрооборудования в эксплуатацию;

- в сроки, определенные графиком планово-предупредительных ремонтов;
- после капитального ремонта электрооборудования.

По сопротивлению петли «фаза-нуль» $Z_{\text{фо}}$ (Ом) ток короткого замыкания $I_{\text{кз}}$ (А) определяется по формуле $I_{\text{кз}} = U_0 / Z_{\text{фо}}$, где U_0 - номинальное значение фазного напряжения, В.

В электроустановках до 1000В в системах с глухозаземленной нейтралью ток однофазного замыкания на корпус электроприемника должен обеспечивать нормированное время отключения поврежденного участка цепи защитным аппаратом, реагирующим на сверхток, в пределах указанного в таблице 6.1. Данные ограничения на время отключения распространяются на групповые сети.

В соответствии с п. 1.7.79 ПУЭ указанное время отключения считается достаточным для обеспечения защиты от поражения электрическим током при косвенных прикосновениях (электрический контакт людей или животных с открытыми проводящими частями, находящимися под напряжением вследствие повреждения изоляции).

Таблица 6.1

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для систем с глухозаземленной нейтралью (TN)

Номинальное фазное напряжение U_0 (В)	Время отключения (с)
127	0,8
220	0,4
380	0,2
более 380	0,1

В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и др. щиты или щитки, время отключения не должно превышать 5 с.

В цепях, питающих только стационарные электроприемники от распределительных устройств также допускается время автоматического отключения питания до 5 с при выполнении следующих условий:

1. Полное сопротивление защитного проводника между главной заземляющей шиной и корпусом распределительного устройства (Z_{pe}) должно удовлетворять следующему требованию:

$$Z_{PE} = \frac{U_0}{U_{\phi 0}} \leq 50, \text{ В.} \quad (6.1)$$

Это означает, что падение напряжения на данном защитном проводнике при однофазном замыкании (ожидаемое напряжение прикосновения) не превысит сверхнизкого напряжения (СНН), равного 50 В (п. 1.7.43 ПУЭ).

2. К шине РЕ распределительного устройства присоединена дополнительная система уравнивания потенциалов, охватывающая те же сторонние проводящие части, что и основная система уравнивания потенциалов.

В системах с изолированной нейтралью время защитного автоматического отключения питания при двойном замыкании на открытые проводящие части не должно превышать указанного в таблице 6.2.

Таблица 6.2

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для систем с изолированной нейтралью (IT)

Номинальное линейное напряжение U_L (В)	Время отключения (с)
220	0,8
380	0,4
660	0,2
более 660	0,1

Для проверки выполнения этих требований в системах с изолированной нейтралью, имеющих только аппараты защиты от сверхтока, производится измерение параметров цепи «фаза-фаза» (полное сопротивление этой цепи или ток междуфазного замыкания).

Учитывая, что в данных системах электроустановки до 1000 В находят крайне ограниченное применение и принципы этих измерений те же, что и при измерениях параметров «фаза-нуль», в данной методике рассматриваются только вопросы указанных параметров цепей с глухозаземленной нейтралью.

6.1.5. Применяемые приборы

Измерение сопротивления цепи «фаза-нуль» проводится специальным

прибором типа М-417 [4], позволяющим измерять сопротивление петли «фаза-нуль» при наличии напряжения на источнике питания в электроустановках напряжением 380 В с глухозаземленной нейтралью питающего трансформатора.

При отсутствии напряжения питающей сети измерения проводятся с использованием нагрузочного, сварочного или котельного трансформатора, регулировочного реостата мощностью не менее 500 Вт, амперметра и вольтметра (рис. 6.1) или цифровым измерителем малых комплексных сопротивлений «Вымпел» [4].

Измерение токов однофазных замыканий производится приборами типа Щ41160, ЭК0200 при наличии напряжения питающей сети [4].

Для измерения параметров цепи «фаза-нуль» (как сопротивления, так и тока однофазного замыкания), при наличии напряжения питающей сети, могут быть использованы малогабаритные цифровые измерительные приборы «Вектор» или аналогичные импортные приборы серии MZC (MZC-300, MZC-301 и т. п.) [7].

6.2. Измерение полного сопротивления петли «фаза-нуль»

6.2.1. Измерение с использованием отдельного источника питания

Измерение проводится при отключенном питающем трансформаторе по схеме, представленной на рис. 6.1 [1].

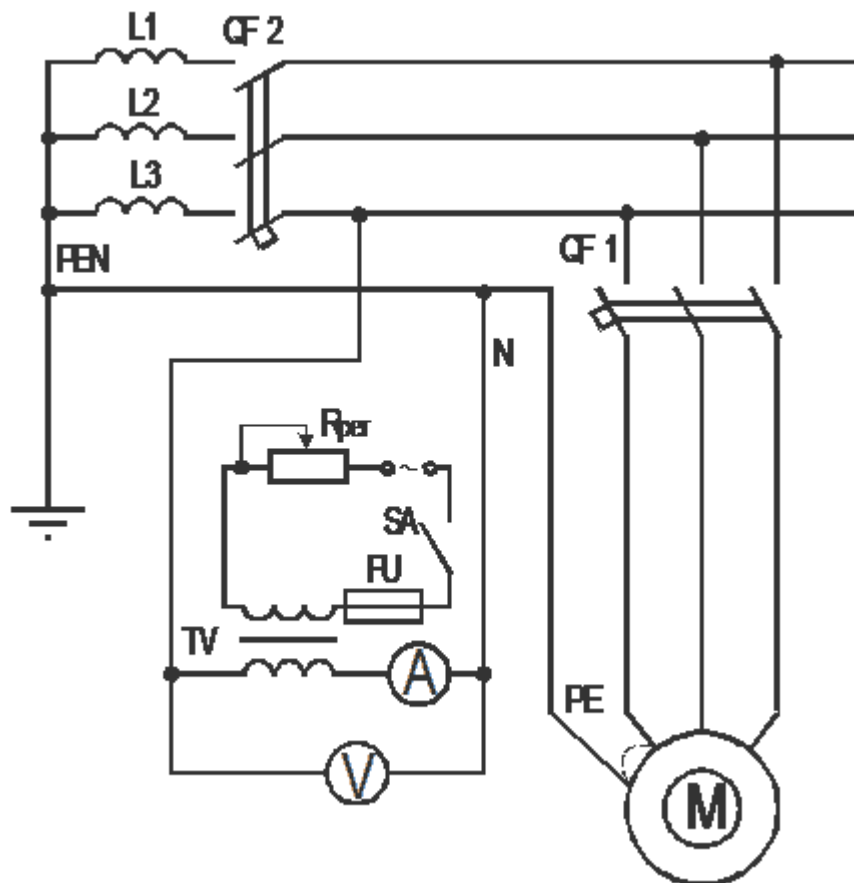


Рис. 6.1. Схема измерения участка петли «фаза-нуль» с использованием отдельного источника питания

Напряжение подается от сварочного, котельного или нагрузочного трансформатора, подключаемого к ближайшему источнику питания.

Ток в измеряемой цепи должен быть не менее 10 А. Для создания цепи фазный провод присоединяется к корпусу электроприемника.

Сопротивление участка цепи «фаза-нуль» определяется по формуле:

$$Z = \frac{U}{I}, \text{ Ом} \quad (6.2)$$

Для определения модуля сопротивления петли фаза-нуль с учетом питающего трансформатора достаточно полученное значение сложить с расчетным значением полного сопротивления одной фазы трансформатора $Z_T/3$.

Полное сопротивление цепи «фаза-нуль» с достаточной точностью определяется из выражения:

$$Z_{\phi 0} = Z_n + Z_T/3, \quad (6.3)$$

а возможный ток однофазного КЗ по формуле:

$$I_{\text{кзр}}^{(1)} = \frac{U_0 \cdot 0,85}{Z_n + Z_T / 3}, \quad (6.4)$$

где U_0 – фазное напряжение, В;

Z_T – полное сопротивление трансформатора.

Значения Z_T для различных трансформаторов приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3

Значения полных сопротивлений питающих трансформаторов

Мощность трансформатора, кВА	Первичное напряжение, кВ	Схема соединения обмоток	Полное сопротивление трансформатора 220/400 В; Ом
25	6-10	Y / Y ₀	3,110
40	6-10	Y / Y ₀	1,949
63	6-10	Y / Y ₀	1,237
100	6-10	Y / Y ₀	0,779
160	6-10	Y / Y ₀	0,487
250	6-10	Δ / Y ₀	0,312
250	6-10	Y / Y ₀	0,106
250	20-35	Y / Y ₀	0,305
400	6-10	Y / Y ₀	0,195
400	6-10	Δ / Y ₀	0,066
630	6-10	Y / Y ₀	0,129
1000	6-10	Y / Y ₀	0,081
1000	6-10	Δ / Y ₀	0,026

Следует учесть, что алгебраическое сложение комплексных сопротивлений не приведет к большой погрешности результата только в случае, если реактивная составляющая полного сопротивления цепи «фаза-нуль» не превышает половины активной составляющей.

Однако данный метод в настоящее время на практике применяется достаточно редко, так как требует больших трудозатрат и наличие постороннего источника переменного напряжения 220 В.

Для измерения сопротивления участка цепи «фаза-нуль» до питающего трансформатора эффективнее использовать разработанный в учебно-

методическом и инженерно-техническом центре Мосгосэнергонадзора (ныне Московский институт энергобезопасности и энергосбережения) измеритель малых комплексных сопротивлений «Вымпел».

Данный прибор позволяет измерять в обесточенных электрических цепях модуль сопротивления в диапазоне 0,05 – 5 Ом, угол сопротивления в диапазоне 0 – 90°, что соответствует разности фаз между током и напряжением в режиме однофазного замыкания при наличии питающей сети, а также рассчитывает ток однофазного замыкания, исходя из величины фазного напряжения 220 В.

6.2.2. Измерение при наличии напряжения питающей сети прибором М-417

Измерения проводятся непосредственно на электроприемниках, наиболее удаленных от проверяемого аппарата защиты, ответвлениях (на входных контактах аппарата, обеспечивающего селективность защиты сети в данном ответвлении); розетках групповых линий.

В цепях электроприемников, присоединенных к одному аппарату защиты в пределах одного помещения, допускается проводить измерения только у наиболее отдаленных электроприемников (розеток) каждого ответвления групповой линии.

У розеток, имеющих защитный заземляющий контакт, измерение сопротивления петли «фаза-нуль» производится между фазным и нулевым защитным проводником.

Однако, если эти розетки включены через устройства защитного отключения (УЗО), то прямые измерения полного сопротивления цепи «фаза-нуль» произвести невозможно, т. к. тестирующие токи существующих приборов, осуществляющих эти измерения, больше номинальных дифференциальных отключающих токов УЗО. В этом случае, для избежания демонтажа или шунтирования УЗО, измерения проводятся по участкам цепи.

Для этого необходимо отключить УЗО и измерить сопротивление участка цепи «выход УЗО – розетка» упоминавшимся ранее измерителем малых комплексных сопротивлений «Вымпел».

При этом измерения следует производить в распределительном устройстве на выходных контактах УЗО, предварительно замкнув фазный и заземляющий контакты розетки перемычкой, которую легко изготовить из стандартной штепсельной вилки.

Перед включением замыкающей штепсельной вилки и производством измерений необходимо убедиться в отсутствии напряжения в розетке и на выходных контактах УЗО.

После этого прибором М-417 измерить полное сопротивление участка цепи «фаза-нуль» (входные контакты УЗО – питающий трансформатор), далее сложить полученные значения сопротивлений – $Z_{\Phi 0} = Z_1 + Z_2$,

где: $Z_{\Phi 0}$ – полное сопротивление цепи «фаза-нуль»;

Z_1 – сопротивление первого обесточенного участка.

Z_2 – сопротивление второго участка (под напряжением).

Если к УЗО присоединены несколько отходящих групповых линий, то для определения полных сопротивлений «фаза-нуль» этих линий достаточно один раз измерить сопротивление участка цепи «УЗО – питающий трансформатор» прибором М-417, после чего измерить сопротивления обесточенных участков отходящих групповых линий прибором «Вымпел» по вышеописанной методике.

Сложив каждое полученное значение сопротивления обесточенных линий с измеренным сопротивлением участка цепи «УЗО – питающий трансформатор» – получим полные сопротивления цепей «фаза-нуль» групповых линий, подключенных к этому УЗО.

Для проведения измерений прибором М-417 необходимо: присоединить прибор к электроприемнику или участнику сети, защита которых проверяется, и провести измерения, для чего:

- присоединить соединительные провода к зажимам прибора;
- ручку «Калибровка» установить в крайне левое положение;
- один из проводов с помощью пружинного зажима присоединить к корпусу электроприемника (РЕ– и PEN–проводнику ответвления), обеспечив в месте присоединения надежный контакт, а второй провод подсоединить к фазному проводу в месте его подключения к электроприемнику (присоединения РЕ– и PEN–проводников ответвления).

Эту работу необходимо выполнять отключив электроприемник от сети.

Если это невозможно, то подключение прибора выполнять в диэлектрических перчатках, защитных очках, стоя на резиновом диэлектрическом ковре или в резиновых диэлектрических галошах.

Если подключение выполнялось со снятием напряжения – подать

напряжение. При наличии заземляющей (зануляющей) цепи загорится лампа $Z \neq \text{н}$. Если лампа не загорелась – это говорит об обрыве заземляющей (зануляющей) цепи. В этом случае измерения проводить запрещается.

При загорании лампы продолжить процесс измерений, для чего:

- нажать кнопку «Проверка калибровки» и с помощью ручки «Калибровка» установить стрелку прибора на нуль;
- отпустить ручку «Проверка калибровки»;
- нажать кнопку «Измерение» и произвести отсчет по шкале прибора;
- время измерения не должно превышать 4 – 7 секунд с интервалами не менее 1 минуты;
- загорание сигнальной лампы « $Z = 2\text{Ом}$ » при нажатой кнопке «Измерение» свидетельствует о сопротивлении петли «фаза-нуль» больше 2 Ом.

В этом случае необходимо произвести измерения по участкам цепи по ранее изложенной методике.

При этом коммутационный аппарат, разделяющий исследуемую цепь на обесточенный участок (для измерения сопротивления этого участка прибором М-417 на входе этого аппарата) следует выбирать из следующих противоречивых требований:

- данный аппарат, по возможности, должен находиться как можно ближе к источнику энергии, чтобы сопротивление участка цепи, измеряемое прибором М-417, укладывалось в диапазон его измерения;
- отключение данного аппарата, с другой стороны, не должно обесточивать слишком большое количество потребителей и приводить к нарушению технологических процессов.

6.3. Измерение токов однофазных замыканий

6.3.1. Измерение с помощью прибора Щ41160

Измерения токов однофазных замыканий проводятся на тех же электроприемниках и в тех же сетях электрических цепей, что и измерения полного сопротивления петли «фаза-нуль» в соответствии с п. 6.2 настоящих рекомендаций.

Измерения проводятся прибором Щ41160, измеряющим реальный ток однофазного замыкания в течение одного периода напряжения сети.

Для проведения измерений необходимо:

- достать соединительные провода из футляра и присоединить к измерителю согласно нанесенной на них и измерителе маркировке. В случаях, когда порядок тока короткого замыкания цепи «фаза-нуль» неизвестен, измерения необходимо начинать с ограничивающим резистором, т. е. соединительный провод «ФАЗА» присоединить к зажиму «ФАЗА огран»;
- соблюдая маркировку («фаза», «корпус») подключить прибор к испытываемому объекту, обеспечив надежное контактное соединение. Эту работу выполнять, отключив электроприемник от сети. Если это невозможно, то подключать прибор следует в диэлектрических перчатках, защитных очках, стоя на резиновом диэлектрическом ковре или в резиновых диэлектрических галошах;
- нажать кнопку ПТН (питание). Загорание индикации (должны высвечиваться нули) свидетельствует о том, что измеритель исправен и готов к работе;
- нажать кнопку ИЗМ. (измерение). На время измерения индикация гаснет, а затем высвечивается результат измерения. На время измерения в течение 5 сек. возможно подсвечивание индикации, которое не отражается на результате измерения;
- если результат измерения тока короткого замыкания с ограничивающим резистором превышает 535 А, то ориентировочное значение тока КЗ определяется по формуле:

$$I_{\text{кз}} = \frac{220}{\frac{220}{I_{\text{изм}}} - 0,3}, \quad (6.5)$$

где $I_{\text{изм}}$ — показания измерителя.

Следует учитывать, что наиболее достоверный результат, определенный по данной формуле, будет для цепей «фаза-нуль» с минимальной индуктивностью.

Если результат измерения тока короткого замыкания с ограничивающим резистором не превышает 535 А, то измерение необходимо повторить без ограничивающего резистора, отключив соединительный провод «ФАЗА» от зажима «ФАЗА огран» и подключив его к зажиму «ФАЗА».

При этом следует иметь в виду, что предел допускаемой относительной основной погрешности в диапазоне от 1000 до 2000 А - не нормируется.

Если при измерении тока короткого замыкания происходит отключение объекта (срабатывает защита) и не удастся зафиксировать результат измерения, то измерение необходимо повторить в следующем порядке:

- соблюдая полярность, установить в отсек питания 6 гальванических элементов;
- включить автомат защиты;
- нажать кнопку ПТН (ПИТАНИЕ);
- нажать кнопку ПМТ (ПАМЯТЬ), переведя измеритель в режим запоминания результата измерения;
- произвести измерение, нажав кнопку ИЗМ (ИЗМЕРЕНИЕ);
- включить автомат защиты, если произошло отключение измерителя от сети;
- кнопку ПТН отжать и через 10-15 с нажать. На отсчетном устройстве высвечивается результат предыдущего измерения.

Следует отметить, что использование данного прибора и аналогичных по принципу действия (ЭК0200) для измерения токов однофазных замыканий связано с рядом неудобств в процессе измерений.

Несмотря на незначительное время протекания в цепи «фаза-нуль» и измерительной цепи прибора реального тока замыкания (20 мс), при токах более 100 А использование щупов и зажимов типа «крокодил» недопустимо, т. к. происходит подгорание контактов, а при больших токах – сваривание щупа и токоведущей части.

Обеспечение надежных контактов при подключении прибора к токоведущим частям, используя болтовые, винтовые соединения и струбцины, требует больших затрат времени и производительность труда при массовых измерениях низка.

Кроме того, при достаточно больших величинах измеряемого тока замыкания срабатывают электромагнитные расцепители автоматических выключателей, у которых проверяется согласование характеристик с параметрами цепи «фаза-нуль» (при номинальных токах автоматических выключателей менее 25 А это происходит практически всегда).

Данное обстоятельство приводит к временному обесточиванию электроустановок и нарушению производственных технологических процессов.

Одним из недостатков данного прибора является также ненормированная погрешность измерений в диапазоне токов однофазных замыканий от 1000 до 2000 А, что не обеспечивает достоверности результатов измерений в этом диапазоне.

Вышеперечисленных недостатков лишены малогабаритные цифровые измерители параметров цепи «фаза-нуль» «Вектор», разработанные в Учебно-методическом и инженерно-техническом центре Мосгосэнергонадзора (ныне Московский институт энергобезопасности и

энергосбережения), и импортные аналогичные приборы серии «МЗС». Принцип действия этих приборов основан на поочередной нагрузке исследуемой сети двумя эталонными сопротивлениями: активным и реактивным (емкостным). При этом тестирующий ток составляет порядка 20 А (в зависимости от реального напряжения в сети), а отношение потерь напряжения к тестирующему току в первом случае ($\Delta U_1 / I_T$) с достаточной степенью точности равно активной составляющей комплексного сопротивления цепи «фаза-нуль»; а во втором ($\Delta U_2 / I_T$) – реактивной составляющей той же цепи «фаза-нуль».

Здесь ΔU_1 , и ΔU_2 – разности действующих значений напряжений сети до подключения и после подключения эталонных, соответственно, активной и реактивных нагрузок.

Эти измерения и последующие вычисления осуществляют микропроцессоры, после чего на минидисплей прибора выводятся: напряжение сети, модуль комплексного сопротивления исследуемой цепи «фаза-нуль», ток однофазного замыкания и разность фаз между током и напряжением.

Если потребители включены через УЗО, то измерения следует проводить по участкам цепи «фаза-нуль» по методике, изложенной в п. 6.2.

При этом сопротивление участка цепи, находящегося под напряжением, определяется по измеренному току однофазного замыкания (на входных контактах УЗО) и фазному напряжению.

6.3.2. Измерения с помощью прибора МЗС-303 Е

6.3.2.1. Подключение прибора к тестируемой электроустановке

Прибор подключается к тестируемой цепи электропитания или к электроустановке как показано на рис. 6.2, 6.3. Недопустимо, прикреплять зажимы - крокодилы к покрытым медью или к ржавым элементам; их следует сначала очистить или произвести проверку качества контакта [7].

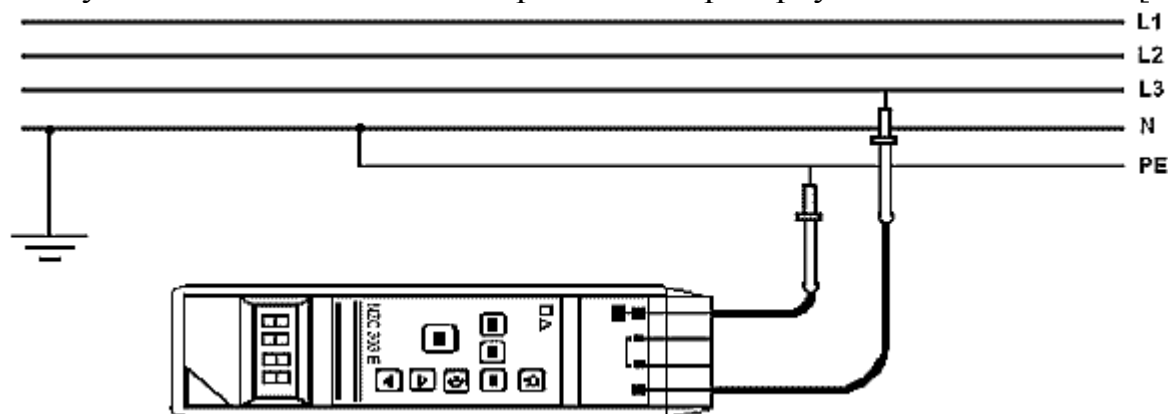


Рис. 6.2. Измерение прибором MZC-303E в цепи (L-N).

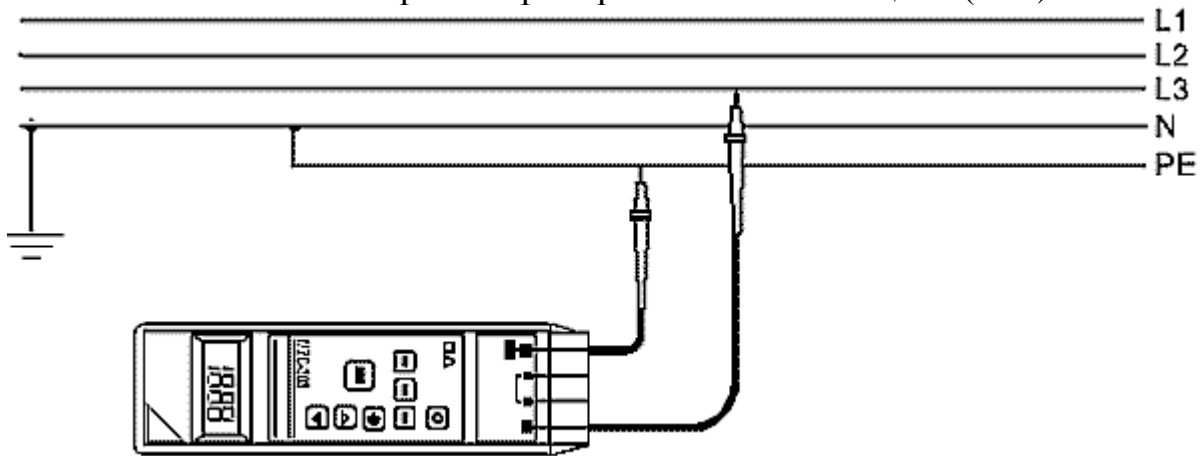


Рис. 6.3. Измерение прибором MZC-303E в цепи (L-PE).

6.4. Оценка качества монтажа сетей по результатам измеренных параметров цепи «фаза-нуль»

Измерение параметров цепи «фаза-нуль» целесообразно производить приборами, позволяющими измерять разность фаз между током и напряжением («Вымпел», «Вектор», «MZC»), т. к. по этой разности фаз, характеризующей величину реактивной составляющей полного сопротивления цепи «фаза-нуль», можно оценить качество монтажа электрических сетей, существенно влияющего на токи однофазных замыканий.

Это актуально при прокладке распределительных сетей одножильными проводами и кабелями больших сечений, не находящихся в одной оболочке. Как известно, индуктивность отдельно проложенных одножильных проводов и кабелей составляет от $0,73 \cdot 10^{-3}$ (при сечении 6 мм^2) до $0,57 \cdot 10^{-3}$ (при сечениях $> 120 \text{ мм}^2$) Гн. Для жил проводов и кабелей, находящихся в одной оболочке (жгуте), эта индуктивность компенсируется распределенной емкостью между жилами, а также бифилярностью рядом расположенных проводников. При этом основной составляющей комплексного сопротивления цепи «фаза-нуль» будет активная составляющая. Для несожгутованных фазных и нулевых защитных проводников при прокладке сети одножильными проводами и кабелями малых сечений в модуле комплексного сопротивления этой цепи будет также преобладать активная составляющая за счет большого активного сопротивления проводников малого сечения, т. к. распределенная индуктивность незначительно зависит от сечения проводника.

Влияние индуктивности отдельно проложенных фазных и нулевых защитных проводников больших сечений на токи однофазных замыканий рассмотрим на примере распределительной сети секции многоэтажного здания, выполненной одножильными проводами или кабелями с медными

жилами сечением 240 мм^2 протяженностью около 50 м.

При этом $X_L = 2\pi fL$, где: X_L – индуктивная составляющая сопротивления фазного и нулевого защитного проводника. При суммарной их длине 100 м, $L = 0,57 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$, а $X_L = 0,018 \text{ Ом}$. При этом активная составляющая сопротивления этих проводников

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,018 \cdot 100}{240} = 0,0075 \text{ Ом}$$

Как видно, индуктивная составляющая сопротивления в 2,4 раза выше активной, а модуль комплексного сопротивления

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{0,000056 + 0,000324} = 0,0195 \text{ Ом,}$$

что почти в 2,6 раза больше активной составляющей.

Для определения полного сопротивления петли «фаза-нуль» прибавим к этой активной составляющей сопротивление питающего кабеля ($\sim 0,0025 \text{ Ом}$) и одной фазы питающего трансформатора (ТМ-1000, Δ/Y_0 , $Z/3 = 0,0087 \text{ Ом}$) и произведя аналогичные вычисления получим полное $Z_{\phi 0} = 0,0259 \text{ Ом}$. Величина расчетного тока однофазного замыкания составит 8462 А.

Если проводники рассматриваемой сети входят в состав кабеля или хорошо сожгутованы и распределенная индуктивность скомпенсирована бифилярностью и емкостью между ними, то в расчетном $Z_{\phi 0}$ индуктивной составляющей сопротивления можно пренебречь. Тогда $Z = 0,0075 + 0,0025 + 0,0087 = 0,0187 \text{ Ом}$ и расчетный ток однофазного замыкания составит 11765 А, что в 1,4 раза больше предыдущего.

В процессе измерений недостатки монтажа выявляются по большей величине разности фаз между током и напряжением в режиме однофазного замыкания. Отношения реального тока однофазного замыкания к максимально возможному в зависимости от этой разности фаз приведены в табл. 6.4.

Из приведенных данных видно, что существенное влияние индуктивной составляющей модуля сопротивления цепи «фаза-нуль» на уменьшение токов однофазных замыканий происходит при соотношении: $X_L/R > 0,5$. Из этого неравенства можно определить минимальные сечения проводников, при которых способы прокладки и качество монтажа распределительных сетей будут существенно влиять на токи однофазных замыканий.

Таблица 6.4

Зависимость относительного тока однофазного замыкания параметров

цепи «фаза-нуль»

X_L/R	$\varphi_{(град)}$	$Z_{\phi 0}/R$	$I_{k3} / I_{k3 \max}$
0,1	5,7	1,0	1,0
0,2	11,3	1,02	0,98
0,3	16,7	1,04	0,96
0,4	21,8	1,08	0,93
0,5	26,6	1,12	0,89
0,6	31,0	1,17	0,85
0,7	35,0	1,22	0,82
0,8	38,7	1,28	0,78
0,9	42,0	1,36	0,74
1,0	45,0	1,41	0,71
1,1	47,7	1,49	0,67
1,2	50,2	1,56	0,64
1,3	52,4	1,64	0,61
1,4	54,5	1,72	0,58
1,5	56,3	1,80	0,56
1,6	58,0	1,89	0,53
1,7	59,5	1,97	0,51
1,8	60,9	2,06	0,49
1,9	62,2	2,15	0,47
2,0	63,4	2,24	0,45

Учитывая, что $L = 5,7 \cdot \frac{l}{1000} \cdot 10^{-4}$ Гн, получим:

$$11,4 \cdot \pi \cdot f \cdot l \cdot 10^{-7} > 0,5 \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} \quad \text{После несложных алгебраических преобразований получаем:}$$

$$S > \frac{5\rho \cdot 10^{-6}}{11,4 \cdot \pi \cdot f}.$$

При этом для медных проводников ($r = 0,018 \text{ Ом} \cdot \text{м}/\text{мм}^2$) это сечение будет $50,3 \text{ мм}^2$ (ближайшее стандартное 50 мм^2), а для алюминиевых ($r = 0,029 \text{ Ом} \cdot \text{м}/\text{мм}^2$) – 81 мм^2 (ближайшее стандартное – 70 мм^2).

Из этого следует, что прокладка распределительных сетей несомкнутовыми одножильными проводами и кабелями сечениями, больше указанных, может привести к снижению токов однофазных

замыканий и, как следствие, быстрodeйствия срабатывания защиты. Например, для автоматических выключателей с характеристиками «D» и «C» при кратностях токов однофазных замыканий, близких к 10 и 5 соответственно. Как видно из приведенных характеристик расцепления автоматических выключателей (рис. 6.5) (ГОСТ Р 50345-99) [9], уменьшение расчетного тока однофазного замыкания более чем на 10% для автоматических выключателей с характеристикой «D» может привести к увеличению времени их срабатывания от сотых долей до единиц секунд. Время срабатывания автоматических выключателей с характеристиками по ГОСТ Р 50030.2-99 при аналогичных уменьшениях токов однофазных замыканий может увеличиться до десятков секунд.

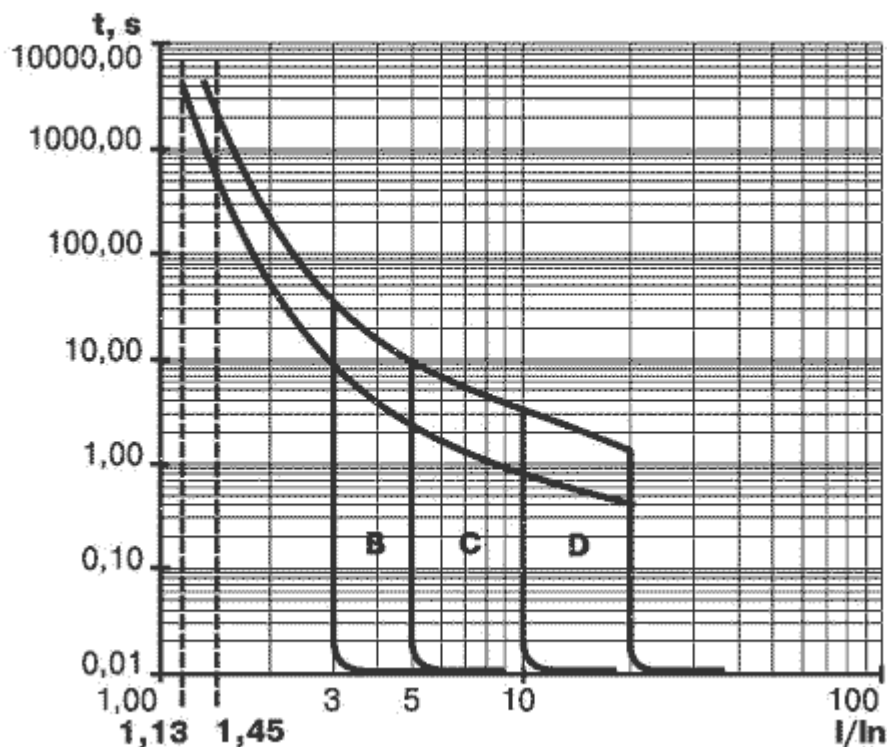


Рис. 6.5. Время - токовая характеристика срабатывания автоматических выключателей

6.5. Оформление результатов испытаний

Соответствие измеренного или расчетного тока однофазного замыкания требованиям нормированного времени отключения, установленного в цепи защитного аппарата, определяется по его время-токовой характеристике.

Если кратность измеренного тока однофазного замыкания по отношению к номинальному току теплового расцепителя превышает верхний предел диапазона токов мгновенного расцепления, то требования п. 1.7.79 ПУЭ выполнены.

Диапазоны токов мгновенного расцепления определяются типами

расцепления (В, С, D и т. п.) или указываются в паспортных данных.

Если измеренный или расчетный ток однофазного замыкания не превышает верхнего предела диапазона токов мгновенного расцепления, то необходимо измерить время отключения установленного в цепи аппарата защиты от сверхтока, пропустив через каждый его полюс ток, равный измеренному или расчетному току однофазного замыкания. (См. методику «Испытания расцепителей автоматических выключателей»).

Результаты испытаний оформляются протоколом, форма которого прилагается.

При заполнении протокола в графе «Вывод на соответствие требованиям» напротив каждого пункта вносить запись: «соответствует» или «не соответствует».

Перечень замеченных недостатков должен предъявляться заказчику для принятия мер по их устранению.

В протокол заносятся значения величин, рассчитанные с учетом погрешности измерений в соответствии с разделом ____ данной методики.

6.6. Порядок выполнения работы

1. На основе таблиц 1.1 – 1.3 разработайте план проведения испытаний аппаратов защиты и защитных проводников электрооборудования аудитории 1-09 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования».

2. Выполните организационно-технических мероприятий и допуск к проведению испытаний. Подготовьте указанный преподавателем прибор к работе.

3. Проведите измерение полного сопротивления петли «фаза-нуль» или тока однофазного замыкания указанного преподавателем участка цепи аудитории 1-09. Занесите результаты измерений в соответствующий протокол.

3. Оцените качество монтажа сетей по результатам измеренных параметров цепи «фаза-нуль».

4. Занесите результаты измерений в соответствующий протокол с учетом возможных погрешностей измерения.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Допустимое время защитного автоматического отключения для TN и IT.
3. Основные формулы.
4. Схема измерения участка петли «фаза-нуль» с использованием отдельного источника питания (рис. 6.1).
5. Оценка качества монтажа сетей по результатам измеренных параметров цепи «фаза-нуль».
6. Оформление протокола.
(см. протокол проверки согласования параметров цепи "фаза-нуль")

Контрольные вопросы к работе

1. В каких сетях проводят измерения сопротивления петли "фаза-нуль"?
2. Расскажите организационные и технические мероприятия при проведении измерений сопротивления петли "фаза-нуль".
3. В каких случаях проводят измерения?
4. Чему равно время отключения для систем с глухозаземленной нейтралью (TN)?
5. Чему равно время отключения для систем с изолированной нейтралью (IT)?
6. Какие приборы используют для измерений полного сопротивления петли "фаза-нуль"?
7. Как выполняют измерение полного сопротивления петли "фаза-нуль"?
8. Расскажите, как выполняются измерения сопротивления петли "фаза-нуль" прибором М-417?
9. Расскажите, как выполняют измерение токов однофазных замыканий?
10. Расскажите, как выполняются измерения токов однофазных замыканий прибором Щ41160?
11. Расскажите, как выполняются измерения петли "фаза-нуль" и токов однофазных замыканий прибором MZC-303 E.
12. Как проводят оценку качества монтажа сетей по результатам измеренных параметров цепи "фаза-нуль"?

Лабораторно-практическая работа

тема: Испытания автоматических выключателей.

Цель работы

Задания к работе

7.1. Общие сведения

7.2. Организационные мероприятия

7.3. Технические мероприятия

7.4. Нормируемые величины

7.4.1. Защита от поражения электрическим током

7.4.2. Защита от перегрузок

7.5. Проведение испытаний

7.5.1. Схемы испытаний и нагрузочные устройства

7.5.2. Технические характеристики устройств «Сатурн-М», «Сатурн-М1»

7.5.3. Технические характеристики комплектов НТИ-1 с РТ 2048М, НТИ-5 с РТ 2048, НТИ-10 с РТ 2048

Испытание электромагнитных расцепителей

Испытание тепловых расцепителей

Меры безопасности

7.5.4. Технические характеристики КИТ-10

Выполнение измерений

Меры безопасности

7.6. Проверка тепловых и электромагнитных расцепителей выключателей бытового и аналогичного назначения

7.7. Проверка расцепителей выключателей, не относящихся к категории «бытового и аналогичного назначения» (по ГОСТ Р 50030.2-99)

7.7.1. Проверка расцепителей перегрузки

Содержание отчета

Цель работы

Изучить методы проведения испытаний автоматических выключателей, ознакомиться с приборами, мероприятиями необходимыми для проведения испытаний. Научится проводить испытания расцепителей автоматических выключателей.

Задания к работе

1. Изучить методику проведения измерений времени срабатывания расцепителей автоматических выключателей.
2. Ознакомиться со схемами испытаний автоматических выключателей.
3. Ознакомиться с нагрузочными устройствами и трансформаторами используемыми при проведении испытаний, такими как «Сатурн-М» и «Сатурн-М1», РТ2048 с нагрузочными трансформаторами НТИ-1 (НТИ-5, НТИ-10), комплектным источником тока КИТ-10.
4. Ознакомиться и выполнить организационно-технические мероприятия и допуск к работе, необходимые для проведения испытаний нагрузочным устройством или трансформатором указанным преподавателем.
5. Провести испытания расцепителей указанных преподавателем автоматических выключателей.
6. Оценить и обработать результаты измерений, заполнить протокол «проверки автоматических выключателей напряжением до 1000 В», представленный в конце данной работы.

7.1. Общие сведения [1]

Испытания расцепителей автоматических выключателей проводятся с целью проверки соответствия пределов их срабатывания данным завода-изготовителя, требованиям ГОСТ Р 50345-99, ГОСТ Р 50030.2-99.

7.2. Организационные мероприятия

Испытания автоматических выключателей могут проводиться по распоряжению бригадой составом не менее двух человек, каждый из которых, производитель работ и член бригады должны иметь не ниже III группы по электробезопасности.

7.3. Технические мероприятия

Перечень необходимых технических мероприятий определяет лицо, выдающее распоряжение в соответствии с пп. 1.4.5.; 1.4.6.; 1.4.7; 1.4.11. и главой 2.3 МПБЭЭ.

Для автоматических выключателей, находящихся во взаиморезервируемых цепях или в цепях источников электрической энергии, включаемых на параллельную работу, особое внимание обратить на отсоединение проводов, кабелей, шин как подходящих, так и отходящих линий.

Работы по отсоединению автоматических выключателей выполнять со снятием напряжения.

Допускается выполнять эти работы без снятия напряжения при обязательном использовании изолированного инструмента, перчаток резиновых диэлектрических, ковров резиновых диэлектрических или резиновых диэлектрических галош.

Отсоединенные провода, кабели, шины, оставшиеся под напряжением, следует надежно изолировать кабельными наконечниками, изолирующими накладками или покрытиями.

7.4. Нормируемые величины

Параметры срабатывания автоматических выключателей должны соответствовать данным завода-изготовителя и обеспечивать:

- защиту от поражения электрическим током (в случае недостаточности других защитных мер) при коротких замыканиях;
- защиту сетей от перегрузок и пожаров, вызванных технологическими перегрузками или повреждениями изоляции.

7.4.1. Защита от поражения электрическим током

Обеспечение требований защиты от поражения электрическим током при косвенных прикосновениях путем автоматического отключения питания достигается нормированным временем отключения поврежденного участка цепи, зависящего от тока однофазного замыкания (см. лаб. раб. №6 Методики

измерения полного сопротивления цепи «фаза-нуль» и токов однофазных замыканий).

Время срабатывания автоматического выключателя проверяется в случае, когда измеренный или расчетный ток однофазного замыкания меньше верхнего предела диапазона токов мгновенного расцепления этого выключателя и разброс времени срабатывания выключателя по время-токовой характеристике выходит за пределы нормированного времени отключения. При этом расцепители автоматических выключателей испытываются током, равным измеренному или расчетному значению тока однофазного замыкания.

7.4.2. Защита от перегрузок

При проверке защиты сетей от перегрузок для автоматических выключателей, допустимое время срабатывания в зависимости от кратности номинального тока и температуры окружающей среды определяется по паспортным данным.

При проверке времени срабатывания автоматического выключателя кратность тока испытания должна приниматься такой, чтобы время срабатывания было не менее 5 секунд. При этом необходимая кратность испытательного тока ориентировочно определяется по формуле:

$$I_x = \sqrt{\frac{I_7^2 \cdot t_7}{t_x}}, \quad (7.1)$$

где I_7 , t_7 – семикратный ток испытаний и время срабатывания теплового расцепителя при этом токе;

t_x – заданное время срабатывания;

I_x – ток, при котором время срабатывания будет соответствовать заданному.

Время срабатывания должно соответствовать данным завода-изготовителя.

7.5. Проведение испытаний

7.5.1. Схемы испытаний и нагрузочные устройства

Автоматические выключатели (АВ) выпускаются с расцепителями с обратозависимой выдержкой времени (тепловыми), с независимой выдержкой времени и мгновенного действия (электромагнитные и электронные).

Тепловые расцепители срабатывают с выдержкой времени, зависящей от

величины тока – чем больше ток, тем меньше выдержка времени. Электромагнитные расцепители (отсечка) срабатывают без выдержки времени.

Выключатели бытового и аналогичного назначения по ГОСТ Р 50345-99 классифицируются по диапазонам токов мгновенного расцепления, при которых автоматический выключатель может расцепиться без выдержки времени, подразделяются на типы расцепления B, C, D (рис. 6.5).

Диапазоны токов мгновенного расцепления выключателей этих типов приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Тип расцепления	Диапазоны токов мгновенного расцепления
B	$3 I_n < I_a \leq 5 I_n$
C	$5 I_n < I_a \leq 10 I_n$
D	$10 I_n < I_a \leq 50 I_n$

где I_n – номинальный ток выключателя (номинальный ток расцепителя с обратозависимой выдержкой времени);

I_a – ток мгновенного расцепления.

Дополнительно к этим типам выключателей, в соответствии со стандартом МЭК 898, отечественной промышленностью выпускаются выключатели с типами расцепления L, 1C, 2C, 3C, 4C.

Разновидность типов расцепления импортных выключателей гораздо шире, но наиболее широкое применение в отечественной практике находят выключатели вышеуказанных типов.

Диапазоны токов мгновенного расцепления для каждого типа выключателя указываются в паспортных данных.

Остальные выключатели, не относящиеся к категории «бытового и аналогичного назначения» (ГОСТ Р 50030.2-99), имеют конкретные значения уставок расцепителей по токам коротких замыканий.

Токи мгновенного расцепления этих выключателей должны находиться в диапазоне $0,8 I_{ук} < I_a \leq 1,2 I_{ук}$,

где $I_{ук}$ – уставка расцепителя по току короткого замыкания (отсечка).

Расцепители регулируют и калибруют на заводе-изготовителе, после чего их крышки пломбируют. Открывать крышки и регулировать расцепители не допускается. При наружном осмотре проверяют отсутствие повреждений

основания кожуха и крышки автомата, производят несколько включений и отключений вручную, проверяя действие расцепителей.

Тепловые расцепители проверяют по схеме, приведенной на рис. 7.1 (а, б).

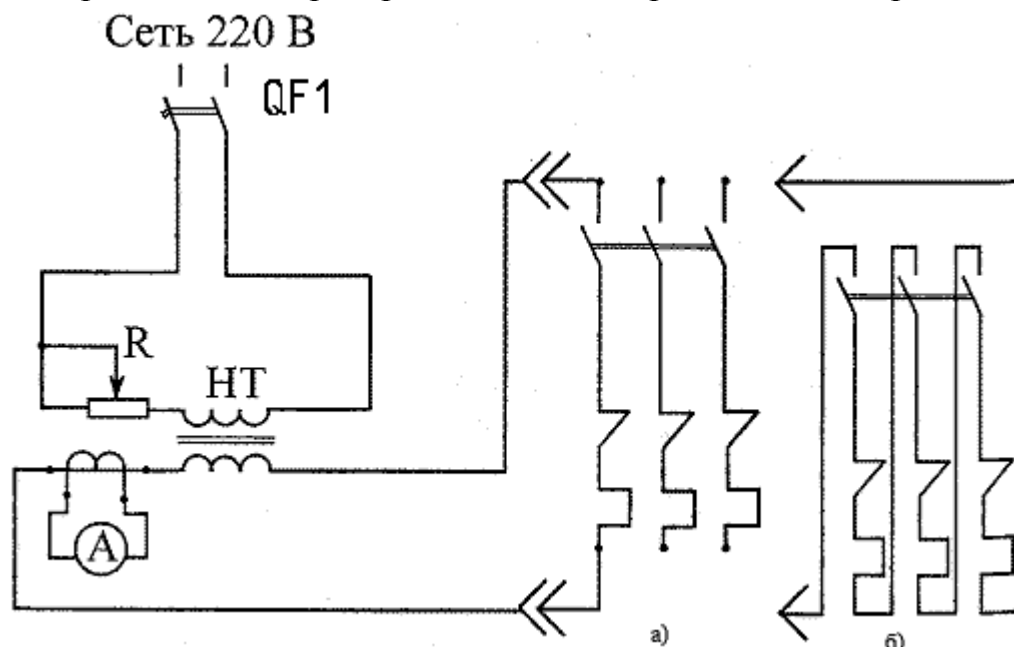


Рис. 7.1 Схема испытания тепловых расцепителей

а – поочередная нагрузка полюсов автоматического выключателя,
б – одновременная нагрузка полюсов автоматического выключателя
испытательным током

На заводе-изготовителе тепловые расцепители калибруют по начальному току срабатывания.

Проверка этого тока требует больших затрат времени. Поэтому при приемосдаточных и эксплуатационных испытаниях проверку производят в форсированном режиме: при 3-х – 5-и кратном номинальном токе расцепителя.

Для каждого типа выключателя и расцепителя время срабатывания при 3-х – 5-и кратной нагрузке не должно превышать указанного заводом. Заводские данные даются для случая одновременной нагрузки испытательным током всех полюсов выключателя, соединенных последовательно (рис. 7.1 б).

Однако при одновременной нагрузке всех полюсов проверка не дает гарантии исправности каждого расцепителя. Поэтому, кроме проверки при одновременной нагрузке всех полюсов выключателя, целесообразно проверить каждый тепловой расцепитель в отдельности.

При испытании тепловых расцепителей необходимо помнить, что если тепловой элемент не работает и не произойдет отключения автомата за максимально допустимое для него время, то необходимо отключить испытательный ток во избежание перегрева и порчи расцепителя.

Максимально допустимое время равно примерно двойному времени срабатывания при форсированном режиме испытания.

Электромагнитные расцепители проверяются только при поочередной нагрузке испытательным током каждой фазы автомата (рис. 7.1 а). При этом нагрузочный ток повышают до 0,8 значения тока отсечки, указанного в паспортных данных выключателя, или до нижнего предела тока мгновенного расцепления для выключателей типов В, С, D и аналогичных.

Электромагнитный расцепитель не должен сработать. После этого нагрузочный ток увеличивается до 1,2 тока отсечки или до верхнего предела тока мгновенного расцепления для выключателей типов В, С, D.

Электромагнитный расцепитель должен сработать. Это означает, что ток отсечки находится в допустимых пределах.

При проверке комбинированных расцепителей (с тепловыми и электромагнитными элементами) нагрузочный ток необходимо повышать быстро, чтобы не успел сработать тепловой расцепитель. Чтобы убедиться в том, что тепловой расцепитель не сработал, сразу после отключения выключатель включают вручную, при срабатывании теплового расцепителя повторное его включение не произойдет.

Принципиальная схема проверки тепловых и электромагнитных расцепителей автоматического выключателя предусматривает:

- – проверка каждого полюса в отдельности (рис. 7.1 а);
- – проверка при одновременной нагрузке всех полюсов (рис. 7.1 б);
- R – реостат (автотрансформатор);
- НТ – нагрузочный трансформатор.

В качестве испытательных устройств в схеме могут быть использованы следующие нагрузочные устройства и трансформаторы:

- – ТН-3 (разработчик ЦЛЭМ Мосэнерго), максимальный ток нагрузки 1800А;
- – НТ-10 (разработчик ВНИИПЭМ), максимальный ток нагрузки 10000А;
- – нагрузочное устройство РТ-2048 в комплекте с однофазным нагрузочным трансформатором ТОН-7М2 (Ассоциация наладочных организаций, Санкт-Петербург, завод «Электросила»), максимальный ток нагрузки 11000А, снабжено электронным секундомером для измерения времени срабатывания расцепителей.

В качестве нагрузочных устройств могут также использоваться сварочные или котельные трансформаторы с регулировкой напряжения по первичной стороне (регулируемые автотрансформаторы типа РНО или регулировочные реостаты).

В настоящее время широкое распространение получили разработанные НПО «Радиус» совместно с фирмой ОРГРЭС специализированные испытательные устройства серии «Сатурн» [7], выполняемые в двух вариантах: «Сатурн-М» и «Сатурн-М1», а также разработанные Ассоциацией наладочных организаций комплекты НТИ-1 с пультом РТ2048М, НТИ-2, НТИ-5 и НТИ-10 с пультом РТ2048 [7]. Устройство «Сатурн-М» представляет собой одноблочное устройство, а «Сатурн-М1» – двухблочное, состоящее из полностью аналогичного «Сатурн-М» базового блока и силового блока, соединяемых при работе кабелем. Базовый блок может использоваться автономно, аналогично устройству «Сатурн-М», а также с нагрузочным трансформатором.

7.5.2. Технические характеристики устройств «Сатурн-М», «Сатурн-М1»

7.5.2.1. Диапазон регулирования и измерения тока в схеме без нагрузочного трансформатора: «Сатурн-М», базовый блок «Сатурн-М1» 10–2000 А, «Сатурн-М1» с силовым блоком 30–12000 А.

Общий вид устройств «Сатурн-М» и «Сатурн-М1» с силовым блоком представлены на рис. 7.2 а, б.

7.5.2.2. Диапазон регулирования первичного тока в схеме с нагрузочным трансформатором (0,5–300) А.

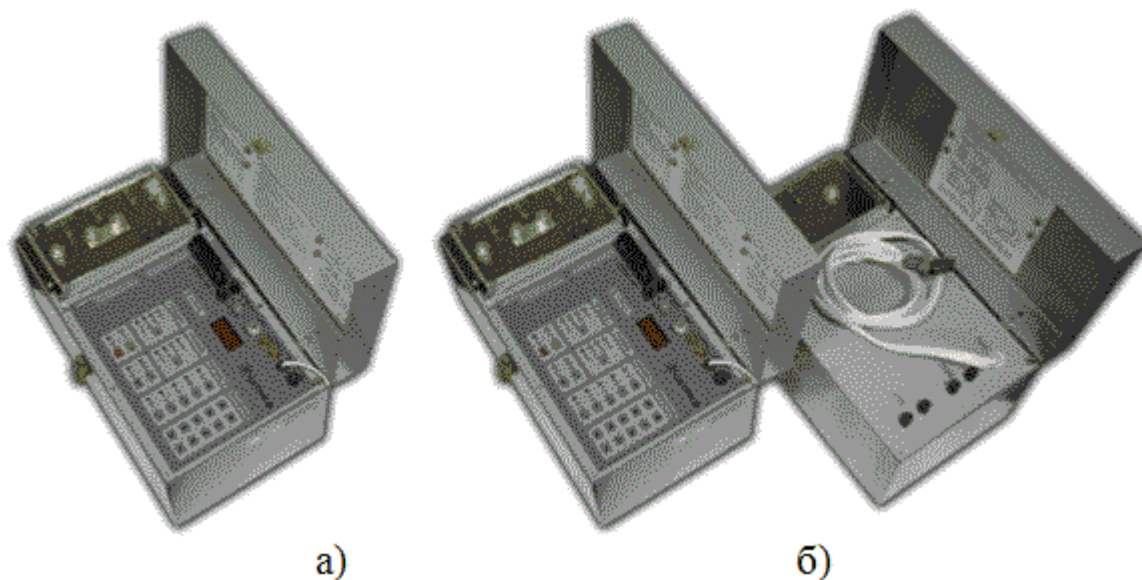


Рис. 7.2 Общий вид устройств
а) «Сатурн-М»;
б) «Сатурн-М1» с силовым блоком

7.5.2.3. Диапазон измерения тока со встроенным трансформатором тока 10 – 2500А, с внешним трансформатором тока 0,1 – 99,99 кА.

7.5.2.4. Диапазон задания и измерения длительности протекания тока и времени отключения аппарата – 0,01–99,99 с.

7.5.2.5. Диапазон регулирования угла открытия тиристоров – 1–100%.

7.5.2.6. Диапазон задания роста угла открытия тиристоров – 1–10%.

7.5.2.7. Допустимая длительность протекания тока в схеме без нагрузочного трансформатора для «Сатурна-М», силового блока «Сатурн-М1» приведена в табл. 7.2.

Таблица 7.2.

Допустимая длительность протекания тока в схеме устройств «Сатурна-М» и силового блока «Сатурн-М1»

«Сатурна-М»		«Сатурн-М1»	
Ток, А	t _{доп} , с	Ток, А	t _{доп} , с
100	100	300	100
200	20	400	50
300	12	500	40
500	5	800	20
1000	1	1000	10
1500	0,3	1500	5
2500	0,06	2000	3
		5000	0,4
		8000	0,15
		12000	0,06

7.5.2.8. Относительная погрешность измерения эффективного значения тока в рабочем диапазоне – 8%.

7.5.2.9. Абсолютная погрешность измерения времени отключения аппарата и установки заданной длительности тока при частоте 50 Гц не превышает $(0,01 \cdot T_{\text{изм}} + 0,01)$ сек.

7.5.2.10. Напряжение питания 220 В, 50 Гц.

7.5.2.11. Допустимое отклонение напряжения питания +10,-15%.

Испытательные схемы с использованием устройства «Сатурн» приведены в инструкциях завода-изготовителя.

7.5.3. Технические характеристики комплектов НТИ-1 с РТ 2048М, НТИ-5 с РТ 2048, НТИ-10 с РТ 2048

7.5.3.1. Назначение комплектов

Комплекты предназначены для проведения испытаний максимальных расцепителей АВ переменного тока в сетях электроснабжения до 1000В [7]. В состав комплектов входят: силовой блок (НТИ-1, НТИ-5, НТИ-10) с встроенным трансформатором тока; пульт управления (РТ-2048М, РТ-2048); чемодан-дипломат со встроенным пультом управления; токопроводы; питающий кабель для подключения нагрузочного комплекта к сети; провода секундомерные с зажимом «крокодил». комплекты используются в закрытых помещениях и на открытых площадках при температуре воздуха от - 10 град С до + 30 град С и относительной влажности до 80%.

Общий вид комплектов НТИ-1 с пультом РТ2048М, НТИ-5 с РТ 2048, НТИ-10 с РТ 2048 представлены на рис. 7.3, 7.4, 7.5.



Рис. 7.3. Комплекта НТИ-1 с пультом РТ2048М

Технические характеристики комплектов НТИ-1 с РТ 2048М, НТИ-5 с РТ 2048, НТИ-10 с РТ 2048 приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3.

Технические характеристики комплектов НТИ-1 с РТ 2048М, НТИ-5 с РТ 2048, НТИ-10 с РТ 2048

	НТИ-1 с РТ 2048М	НТИ-5 с РТ 2048	НТИ- 10 с РТ 2048
Состав комплекта			
– силовой блок с встроенной тиристорной панелью регулирования первичного тока трансформатора	НТИ-1	НТИ-5	НТИ-10
– пульт управления тиристорной панелью и цифровой индикации величин испытательного тока и времени срабатывания расцепителей	РТ-2048М	РТ-2048	РТ-2048
– соединительные провода сечением, мм ² .	25	150	240
– Индуктивный датчик тока	–	+	+
– дипломат для хранения пульта управления и индуктивного датчика тока.	+	+	+
Параметры работы комплектов			
Максимальный испытательный ток в импульсном режиме, А	1000	5000	10000
Потребляемый из сети импульсный ток, А;	20	150	400
Установки длительности протекания импульсного тока через силовой блок, с	от 0,02 до 1,6	от 0,02 до 1,6	от 0,02 до 1,6
Максимальный испытательный ток в длительном режиме, А	300	500	1000
Испытательный ток при продолжительность цикла в 40 с, А	не более 600	не более 3000	не более 6000
Минимальный испытательный ток, А	10	50	100
Диапазон измерения времени, с	от 0,01 до 99,99	от 0,01 до 99,99	от 0,01 до 99,99
Напряжение питания	220 В (380 В	220 В (380 В	220 В

комплекта, В	кратковременно)	кратковременно)	или 380 В
Погрешность измерения испытательного тока, %	5	5	5
Условия эксплуатации Температура окружающей среды, °С, Относительная влажность, %	-10 – +30	-10 – +30	-10 – +30
Масса комплекта, кг	5,5	19	27



Рис. 7.4. Комплекта НТИ-5 с пультом РТ2048



Рис. 7.5. Комплект НТИ-10 с пультом РТ2048

Рассмотрим принцип работы данной серии комплектов на примере НТИ-1 с РТ2048М.

7.5.3.2. Принцип работы НТИ-1 с РТ2048М

Функциональная схема комплекта НТИ-1 с РТ2048М приведена на рис. 7.6.

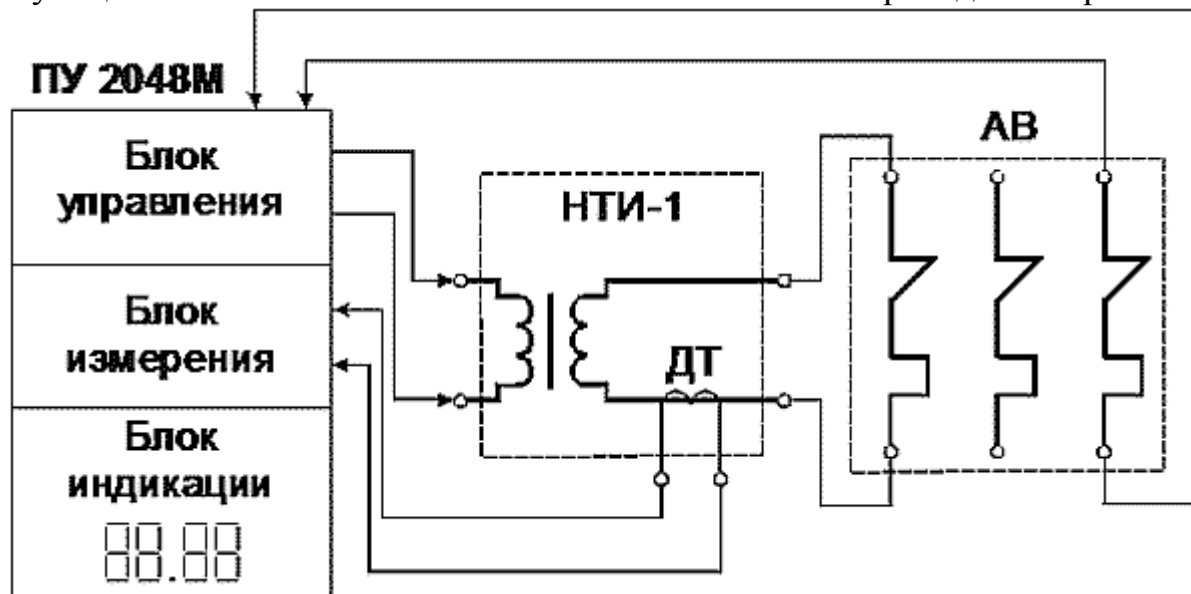


Рис. 7.6. Схема комплекта НТИ-1 с РТ2048М для испытания максимальных расцепителей автоматических выключателей

Комплект состоит из следующих основных узлов и блоков: ПУ – пульт

управления (регулятор тока РТ-2048М), состоящего из:

- а) блока питания, вырабатывающего требуемые значения напряжений для питания всех блоков;
- б) блока управления, реализующего алгоритм работы регулятора;
- в) блока измерения и вычисления, осуществляющего измерение значения испытательного тока, вычисляющего эффективное значение несинусоидального тока для трех видов расцепителей: максимального мгновенного действия, максимального с обратной зависимой выдержкой времени и полупроводникового;
- г) блока индикации, предназначенного для цифровой индикации эффективного значения испытательного тока и времени его отключения.

Блоки ПУ смонтированы на плате с печатным монтажом. Все органы управления и приборы индикации выведены на переднюю панель. На боковых панелях расположены: предохранитель блока питания, разъем для подключения силового блока, гнезда для подключения блок контактов АВ и гнезда для подключения осциллографа.

Силовой блока НТИ-1 с встроенным трансформатором тока. В НТИ-1 вмонтировано температурное реле, размыкающий (н.з) контакт которого соединен со светодиодом, установленным в пульте управления. При нормальной температуре трансформатора светодиод горит, при перегреве светодиод гаснет, и схема управления блокируется.

Назначение органов управления и индикации:

- – кнопка «ПУСК» осуществляет обнуление всех элементов схемы и включение ПУ в работу;
- – кнопка «СТОП» осуществляет отключение ПУ при работе в длительном режиме (в случае неисправности испытуемого расцепителя), в импульсном режиме и длительном (при исправном расцепителе) отключение происходит автоматически по истечении времени, заданного переключателем «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ» или после размыкания испытуемого расцепителя;
- – переключатель «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ» предназначен для установки времени протекания испытательного тока от 0,02 до 1,6 с и длительно;
- – переключатель «+» предназначен для задания увеличения (в положении «+») или уменьшения (в положении «-») тока при установке необходимого значения;
- – переключатель «НАБОР» определяет возможность изменения тока (увеличение «+» или уменьшение «-») в положении «НАБОР» при отпускании кнопки «ПУСК» или его фиксированное значение в положении «ОГРАНИЧЕНИЕ»;

- – переключатель «СБРОС» дает возможность сбросить уставку тока (до заданного значения) в положении «СБРОС» или оставить предыдущее значение тока в положении «ОГРАНИЧЕНИЕ» при отпускании кнопки «ПУСК»;
- – положение переключателя «ПП», «ЭМ», «Т» зависит от типа испытуемого расцепителя;
- – переключатель «ТОК/СЕК» дает возможность просмотра показаний значений тока (ТОК) и секундомера (СЕК);
- – переключатель пределов измерения «100А» и «1000А». В положении переключателя «100А» предел измерения тока составляет от 10А до 100А, в положении переключателя «1000А» от 100А до 1000А.

Существуют три режима индикации:

- – ровное свечение индикаторов соответствует нормальному измерению;
- – мигающий свет индикаторов соответствует переполнению счетчиков в канале измерения и требует перехода на больший предел;
- – отсутствие индикации соответствует наличию в испытательном токе апериодической составляющей и указывает на необходимость уменьшения тока.

7.5.3.3. Порядок эксплуатации

Общие рекомендации

1. Испытание производится протеканием тока через АВ от нагрузочного комплекта до срабатывания расцепителей, при этом должны быть выполнены два условия, без которых нарастания тока происходить не будет:

а) должна быть обеспечена гарантированная цепь протекания тока через силовые контакты испытуемого АВ;

б) должна быть обеспечена гарантированная цепь через блокировочные контакты (или свободные силовые контакты) испытуемого АВ для концов встроенного секундомера комплекта. При испытании однофазных АВ и отсутствии его блок контактов гнезда секундомера можно соединить «накоротко».

В этом случае:

а) измеряется время спадания тока при срабатывании расцепителя, а не время разрыва контактов;

б) измеренное индикатором время при переключении тумблера «ТОК/СЕК» в памяти не остается.

2. Подключение комплекта к питающей сети производить стандартным поставляемым кабелем. В качестве вводного должен быть использован АВ типа ЛЕ или ВА с номинальным током расцепителя не менее 25-40А.

3. Испытуемый АВ до подачи питающего напряжения должен находиться в отключенном состоянии.

4. Набор тока рекомендуется начинать при питающем напряжении 220В. Если необходимого значения тока достичь не удастся, следует подать на комплект питающее напряжение 380В.

5. Комплект обеспечивает нарастание тока через испытуемый АВ «ступенями», при этом скорость нарастания тока зависит от величины питающего напряжения первичной обмотки НТИ-1 220В или 380В, а также от подключения испытуемого АВ на всю обмотку НТИ-1 (клеммы 1-2) или на ее половину (клеммы 1-3).

6. Независимо от конечного требуемого значения тока срабатывания расцепителя его набор следует начинать на пределе измерения 100А.

7. Значение приведенной погрешности измерения действующего значения испытательного тока (не более 5%) равно отношению разности фактически измеренного и выставленного значений к пределу измерения (100А или 1000А). Так как комплект обеспечивает подачу на испытуемый АВ тока несинусоидальной формы, проверка правильности измерения эффективного (действующего) значения тока осуществляется только амперметром серии «Д».

Испытание электромагнитных расцепителей

1. Перед подключением нагрузочного комплекта к питающей сети все тумблеры РТ-2048М установить в нижнее положение, переключатель «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ» – в положение 0,02 с.

2. Установить переключатель пределов измерения в положение «100А».

3. Переключить тумблер «ТОК/СЕК» в положение ТОК. На индикаторе может высветиться либо часть цифр, либо только точки.

4. Соединить гнезда секундомера на пульте управления с блокконтактами или свободными силовыми контактами испытуемого АВ.

5. Подключить первичную обмотку НТИ-1 к сети.

6. Подключить вторичную обмотку НТИ-1 (клеммы 1-2 или клеммы 1-3) к испытуемому АВ.

7. Включить испытуемый АВ.

8. Нажать кнопку «ПУСК». На индикаторе должно высветиться

начальное действующее значение испытательного тока, которое должно быть не более 10А.

9. Переключатель «СБРОС/РАБОТА» перевести в положение «РАБОТА».

10. Нажатием кнопки «ПУСК» довести испытательный ток до срабатывания электромагнитного расцепителя. При достижении испытательным током более 200А начнется мигание индикатора; в этом случае переключатель пределов измерения тока перевести в положение «1000А».

11. Установить тумблер «НАБОР/ОГРАНИЧЕНИЕ» в положение «ОГРАНИЧЕНИЕ».

12. Установить переключатель «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ» в положение большее ожидаемого времени срабатывания испытуемого АВ.

13. Включить испытуемый АВ.

14. Нажать кнопку «ПУСК» и после срабатывания электромагнитного расцепителя зафиксировать по индикатору ток и время срабатывания (в положении тумблера «СЕК») электромагнитного расцепителя.

Испытание тепловых расцепителей

1. Повторить операции по п.п. 1 – 10 испытаний электромагнитных расцепителей.

2. Нажатием кнопки «ПУСК» довести испытательный ток до значения, на 10% превышающего заданную величину тока срабатывания теплового расцепителя (обычно $I_{ср} = 3 I_{н.расц.}$).

3. Установить тумблер «НАБОР/ОГРАНИЧЕНИЕ» в положение «ОГРАНИЧЕНИЕ».

4. Установить переключатель «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ» в положение «ДЛИТ.».

5. Установить переключатель «ТОК/СЕК» в положение «СЕК».

6. Нажать кнопку «ПУСК» и наблюдать за временем работы теплового расцепителя по цифровому индикатору. Обычно время срабатывания теплового расцепителя 3-х кратным током составляет 30-40 с. Если по истечении 50-60 с АВ не отключится, следует нажать кнопку «СТОП» и остановить протекание тока через испытуемый АВ. Данный фактор характеризует неисправность испытуемого теплового расцепителя.

7. После срабатывания теплового расцепителя следует перевести тумблер «ТОК/СЕК» в положение «ТОК» и проверить его соответствие заданному значению (уменьшение тока меньше заданного значения возможно ввиду нагрева теплового расцепителя и увеличения его сопротивления). Данный пункт применим только для многофазных АВ или для однофазных АВ с блок-контактами.

Меры безопасности

1. При работе с комплектом необходимо строго соблюдать общие требования техники безопасности, распространяющиеся на устройства релейной защиты и автоматики энергосистем.
2. К эксплуатации допускаются лица, изучившие ТО, инструкцию по эксплуатации и прошедшие проверку правил ТБ и эксплуатации энергоустановок.
3. Подключение входных клемм устройства к токоведущим цепям должно производиться после проверки отсутствия напряжения.
4. При проверке АВ подключение входных клемм должно производиться через АВ с номинальным током расцепителя не менее 25-40А.
5. Соединительные провода надо сначала подключить к устройству, а затем уже к токоведущим цепям.
6. На время измерения входные клеммы должны быть закрыты изоляционной крышкой.
7. Перед работой с устройством клемму «КОРПУС» комплекта необходимо соединить с контуром заземления.
8. **ВНИМАНИЕ!** При работе необходимо следить за допустимой длительностью протекания тока через комплект (согласно п.6. испытания тепловых расцепителей) для предотвращения пробоя тиристоров и перегрева трансформатора.
9. **ВНИМАНИЕ!** Во избежание повреждения пульта управления категорически запрещается подавать любое напряжение на гнезда секундомера.
10. **ВНИМАНИЕ!** Во избежание повреждения пульта управления категорически запрещается использовать некалиброванные предохранители.

7.5.4. Технические характеристики КИТ-10

Комплектный источник тока КИТ-10 с фиксирующим амперметром и секундомером предназначен для прогрузки первичным током автоматических выключателей и токовых цепей РЭА [11]. Изготовлен ЦЛИТ СПНУ СВЭМ г. Красноярск, общий вид КИТ-10 представлен на рис. 7.7.

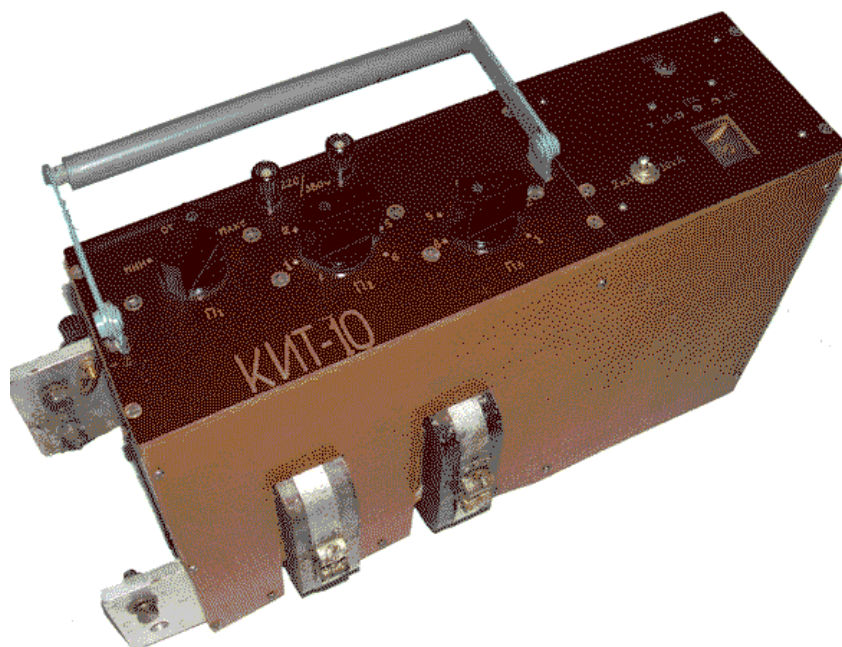


Рис. 7.7. Комплектный источник тока КИТ-10

Таблица 7.4

Технические данные КИТ-10

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	380/220 В \pm 20%
Потребляемый из сети ток, А	150
Частота питающей сети, Гц	50
Ток на короткое замыкание ($S = 300 \text{ мм}^2$, $L = 0,6 \text{ м}$), кА	10
Количество ступеней регулирования	4
из них: а) напряжением питания	380/220 В
б) грубо	2
в) средне	6
г) точно	6
Выходное напряжение ХХ, В	4,8/2,8 \pm 20 %
Пределы измерения тока, кА	2/10
Пределы измерения времени, с	9,9
Класс точности комплекта	4,0
Время включения до 5 кА, с	30
5-10 кА, с	2

Техническое описание

Комплектный источник тока КИТ-10 содержит два трансформатора, имеющих

общую вторичную обмотку, сетевая обмотка первого трансформатора с отпайками, которые подключены к двум переключателям ПЗ и П2, к общим шинкам которых через переключатель П1 подключена сетевая обмотка второго трансформатора. Выходное напряжение источника складывается из напряжения от Тр1 и Тр2, фаза напряжения от Тр2 может изменяться на 180 эл. град. переключателем П1. Таким образом вторичное напряжение регулируется при 380 В от 1,6 до 4,8 В, при 220 В от 0,9 В до 2,8 В.

КИТ подключается к сети тиристорным пускателем. Включение источника производится кнопкой «ПУСК» при нажатии на нее. Отключение источника происходит при возврате кнопки «ПУСК».

Измерение тока и времени производится комплектом, содержащем цифровой амперметр и секундомер. Цифровой амперметр содержит каскадный трансформатор тока Тр2-ТТ, выпрямитель, шунты, переключатель пределов измерения, аналого-цифро-аналоговый преобразователь. Измерение производится по амплитуде отрицательной полуволны напряжения шунта, первый раз через 0,16 секунды после включения, а затем через каждые 1,08 секунды на все время протекания тока. При отключении тока показания килоамперметра сохраняются до следующего измерения или отключения источника от питающей сети. Пределы измерения тока устанавливаются до начала измерения. При превышении током установленного предела измерения загорается непрерывным светом светодиод (10 сек/ка).

Цифровой секундомер содержит датчик интервалов времени, в качестве которого используется период сети 50 Гц, логическую схему, разрешавшую счет времени при протекании тока в выходной цепи и запрещающую при отсутствии тока, десятичный счетчик импульсов и цифровой индикатор, который содержит два разряда, разделенных запятой.

Цифровой индикатор один и тот же для кило-амперметра и секундомера, переключение производится с периодом 1,5 – 2 сек, сигнализация вида измерений производится светодиодами – красный соответствует измерению тока, зеленый – измерению времени.

В комплектном устройстве предусмотрено два режима работы – настроечный или прогрузочный. Выбор режима определяется при нажатии кнопки «ПУСК» – при горящем зеленом светодиоде (сек) режим настройки, при горящем красном светодиоде (кА) – режим прогрузки. Режим настройки характеризуется автоматическим отключением устройства от сети через 0,16 секунды с фиксацией величины тока в прогружаемом устройстве и позволяет без значительного перегрева питающей сети, прогружаемого аппарата и комплектного устройства установить необходимую величину тока путем манипуляции с положениями переключателей П1, П2, ПЗ. В режиме прогрузки ток в выходной цепи протекает до тех пор, пока не отключается прогружаемый автомат или не отпускается кнопка «ПУСК». Цифровой секундомер в случае

превышения пределов измерения 10 секунд продолжает отсчет секунд в младших разрядах (целые и десятые доли секунды) и загорается светодиод (>10 сек/кА) кратковременно.

При необходимости отсчет десятков секунд может производиться по часам, механическому секундомеру или подсчетом количества миганий светодиода (>10 сек/кА).

Выполнение измерений

На месте производства работ собирается схема испытаний:

1. Корпус источника тока подключается к контуру заземления (зануляется).
 2. Испытываемый аппарат подключается к источнику тока гибкими концами сечением $S = 250\text{--}300 \text{ мм}^2$ минимальной длины. Если предполагается работа с токами менее 2 кА, то концы могут быть $S = 50 \text{ мм}^2$ до 1,5 м.
 3. К клеммам 380/220 В подключить питающую сеть через аппарат с видимым разрывом с номинальным током 150 А. Выбор питающего напряжения 380 или 220 В производится в зависимости от требуемой величины выходного тока: 220 В для токов до 5 кА, 380 В для токов более 5 кА.
 4. Установить переключатели: ПЗ, П2 – в положение 1, П1 – в «ОТКЛ».
 5. Включается питание, переключатель П1 устанавливается в положение «мин» или «макс», нажимается кнопка "ПУСК" одновременно с загоранием зеленого светодиода, при этом в нагрузку поступает импульс тока длительностью 0,16 сек., индикатор фиксирует величину тока. Подбор осуществляется переключателями П1, П2, ПЗ. Переключатель ПЗ обеспечивает минимальную регулировку, П2 – грубую, П1 – диапазонную. П1 в «откл» отключение от сети, в «мин» $(0,3\text{--}0,66) I_{\text{max}}$ «макс» $(0,66\text{--}1) I_{\text{max}}$. Для каждого последующего запуска источника тока нужно вновь нажать кнопку "ПУСК".
- В режиме «настройка» возможно отключение испытываемого автомата, если выходной ток источника значительно превышает уставку отсечки автомата. В этом же случае, возможно, что килоамперметр не зафиксирует ток, так как фиксация тока производится через 0,16 секунды после включения источника (для исключения влияния переходных процессов коммутации тока на показания прибора). В этом случае необходимо снизить величину тока. Переключатели П2 и ПЗ увеличивают выходной ток при переводе от положения 1 к 6, если П1 находится в положении «мин», и от 6 к 1, если П1 в положении «макс».
6. После подбора величины тока нажимается кнопка «ПУСК» при загорании красного светодиода, через аппарат протекает ток, при исправном автомате

происходит его отключение с установленной выдержкой времени. После отключения автомата в памяти прибора зафиксирована величина тока и длительность его протекания.

Цифровой индикатор поочередно переключается на индикацию величины тока или времени. При горящем красном светодиоде считываются показания килоамперметра (0,0–9,9 кА), с умножением на 0,2 при пределе измерения 2 кА, при горящем зеленом светодиоде считываются показания секундомера (0,0-9,9 сек.), если не горит красный светодиод (>10 сек/кА). Если же и светодиод (>10 сек/кА) горит непрерывно, то необходимо перейти на следующий предел по току, если в процессе прогрузки светодиод (>10 сек/кА) мигает, то десятки секунд отсчитываются по наручным часам, ручному секундомеру или числу миганий светодиода (>10 сек/кА), а секунды и десятые доли секунды по цифровому индикатору комплекта. Если ток в цепи автомата проходит более 30 секунд и автомат не отключается, то для исключения значительного перегрева питающей сети, автомата и источника тока кнопку «ПУСК» отпустить для отключения источника от сети (при токе >4 – 5 кА).

Меры безопасности

1. Подключение источника тока к питающей сети производится через аппарат с видимым разрывом с номинальным током не менее 150 А.
2. Вторичная обмотка источника тока подключается к контуру заземления (зануляется).
3. Сборка схемы производится при отключенном от сети источнике тока.
4. Один раз в квартал производится измерение изоляции сетевой и нагрузочной обмоткой мегаомметром на 1000 В. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм.

7.6. Проверка тепловых и электромагнитных расцепителей выключателей бытового и аналогичного назначения

В соответствии со стандартом МЭК 60898, устанавливающим требования к автоматическим выключателям бытового и аналогичного назначения, АВ должны нормально расцепляться при протекании испытательного тока в течение установленного для данного типа АВ времени, согласно параметрам, приведенным в таблице 7.5.

Таблица 7.5

Параметры нормальной времятоковой зоны АВ

Тип мгновенного расцепления	Испытательный ток	Начальное состояние	Пределы времени расцепления или нерасцепления	Требуемый результат
B	3,00	Холодное	0,1с < t < 45с ($I_n \leq 32$ А) 0,1с < t < 90с ($I_n > 32$ А)	Расцепление
C	5,00		0,1с < t < 15с ($I_n \leq 32$ А) 0,1с < t < 30с ($I_n > 32$ А)	
D	10,00		0,1с < t < 4с ($I_n \leq 32$ А) - 0,1с < t < 8с ($I_n > 32$ А)	

- Собрать схему проверки в соответствии с инструкцией изготовителя используемого нагрузочного устройства.
- Для проверки тепловых расцепителей пропустить через каждый, находящийся в холодном состоянии, полюс выключателя ток, равный $2,55 I_n$ (при такой величине тока электромагнитный расцепитель АВ не сработает при любом типе мгновенного расцепителя).

Время расцепления должно составлять не менее 1 с и не более:

60 с – при номинальных токах выключателей до 32 А;

120с – при номинальных токах выключателей выше 32 А.

- Для проверки электромагнитных расцепителей типа «В» пропустить через каждый полюс ток, равный $3 I_n$. Время расцепления должно быть **не менее** 0,1 с.

Пропустить через каждый полюс ток, равный $5 I_n$. Время расцепления должно быть **менее** 0,1 с.

- Для проверки электромагнитных расцепителей типа «С» пропустить через каждый полюс ток, равный $5 I_n$. Время расцепления должно быть **не менее** 0,1 с.

Пропустить через каждый полюс ток, равный $10 I_n$. Время расцепления должно быть **менее** 0,1 с.

- Для проверки электромагнитных расцепителей типа «D» пропустить через каждый полюс ток, равный $10 I_n$. Время расцепления должно быть **не менее** 0,1 с.

Пропустить через каждый полюс ток, равный $50 I_n$. Время расцепления должно быть **менее** 0,1 с.

Также, как и при проверке тепловых расцепителей, полюса выключателей перед каждым испытанием должны находиться в холодном состоянии.

Термин «холодное» означает: «Без предварительного пропускания тока при контрольной температуре калибровки» (ГОСТ Р 50345-99). Контрольная температура калибровки – 30°C.

Испытания проводят при любой температуре, а результаты корректируют к температуре 30°C на основании поправочных коэффициентов изготовителя. При отсутствии данных изготовителя испытательные токи устанавливают отличными от указанных на 1,2% на каждый градус изменения температуры, при которой проводятся испытания.

Пример: при проведении испытаний при температуре 20°C испытательные токи следует увеличивать на 12%.

7.7. Проверка расцепителей выключателей, не относящихся к категории «бытового и аналогичного назначения» (по ГОСТ Р 50030.2-99)

7.7.1. Проверка расцепителей перегрузки

Расцепители перегрузки рассматриваемых выключателей подразделяются на:

- расцепители мгновенного действия;
- расцепители с независимой выдержкой времени;
- расцепители с обратозависимой выдержкой времени (преимущественно тепловые).

При проверке расцепителей мгновенного действия или с независимой выдержкой времени через каждый полюс выключателя пропустить испытательный ток, равный 90% уставки по току перегрузки.

При этом расцепитель не должен сработать с начала прохождения тока в течение:

- 0,2 с для расцепителей мгновенного действия;
- удвоенной выдержке времени, указанной изготовителем, для расцепителей с независимой выдержкой времени.

Пропустить через каждый полюс ток, равный 110% уставки по току нагрузки. При этом расцепитель должен сработать в течение:

- 0,2 с для расцепителей с независимой выдержкой времени;
- удвоенной выдержке времени, указанной изготовителем, для расцепителей мгновенного действия.

При проверке расцепителей с обратозависимой выдержкой времени (тепловых) при контрольной температуре (30±2)°C (холодное состояние полюсов) через последовательно соединенные полюса выключателя пропускают ток, равный 1,05 уставки расцепителя в течение 1 часа. В течение этого времени

расцепитель сработать не должен.

По истечении этого времени значение испытательного тока в течение 5 с повышают до 1,3 уставки расцепителя. При протекании этого тока расцепитель должен сработать в течение 2 часов с момента увеличения испытательного тока. Данные испытания требуют больших затрат времени, поэтому проверку соответствия параметров расцепителей с обратной зависимой выдержкой времени данным изготовителя при массовых испытаниях производят в форсированном режиме при условии, что время расцепления должно быть не менее 5 с.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схемы проведения испытаний расцепителей автоматических выключателей (рис. 7.1).
3. Основные технические характеристики нагрузочных устройств и трансформаторов используемых для проведения испытаний.
4. Технические характеристики испытываемых автоматических выключателей.
5. Результаты проверки автоматических выключателей до 1000 В, оформленные протоколом.
(см. протокол проверки автоматических выключателей напряжением до 1000 В)

Контрольные вопросы к работе

1. От каких аварийных режимов защищают автоматические выключатели?
2. Расскажите организационные и технические мероприятия при проведении испытаний расцепителей автоматических выключателей.
3. Какие типы расцепителей можно проверять нагрузочными устройствами и трансформаторами?
4. В каких случаях проводят проверку автоматических выключателей?
5. Как проводят испытания электромагнитных расцепителей АВ нагрузочным устройством РТ2048 с НТИ-10?
6. Как проводят испытания тепловых расцепителей АВ нагрузочным устройством РТ2048М с НТИ-1?
7. Какие приборы используют для проведения испытаний расцепителей АВ?
8. Перечислите основные технические характеристики КИТ-10.
9. Укажите диапазоны нормального времени срабатывания

расцепителей АВ бытового и аналогичного исполнения, для различных типов мгновенных расцепителей.

10. Укажите диапазоны нормального времени срабатывания тепловых расцепителей АВ бытового и аналогичного исполнения, для различных номинальных токов АВ.

11. Расскажите методику испытания расцепителей АВ не относящихся к категории бытового и аналогичного исполнения?

12. Как проводят испытания расцепителей АВ КИТ-10?

ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Проверка состояния токоведущих частей контактных соединений.

Цель: 1. Получить предварительные представления о видах электропроводок.

2. Научить учащихся правильно выбирать тип контактов

Общие сведения:

В данной теме рассматриваются основные приемы и способы выполнения разборных и неразборных электрических соединений установочных проводов, кабелей и шин из меди, алюминия и его сплавов, включая подсоединения алюминиевых жил к выводам электрических установок и контактные соединения жил между собой. Уделяется внимание электрическим соединениям в заземляющих и защитных цепях электроустановок. При изучении темы необходимо руководствоваться требованиями Строительных норм и правил, правилами устройства электроустановок и ГОСТ 10434—82, в котором классификация электрических соединений и общие технические требования.

Электрические контактные соединения в зависимости от области применения разделяют на три класса.

К *первому* относят контактные соединения цепей, сечение проводников которых выбраны по допустимым длительным токовым нагрузкам (силовые электрические цепи, линии электропередачи),

Ко *второму* — контактные соединения цепей, сечения проводников которых выбрано стойкости к сквозным токам, потере и отклонению напряжения, механической прочности, защите от перегрузки (контактные соединения в цепях заземляющих и защитных проводников из стали),

к *третьему*—контактные соединения цепей с электротехническими устройствами, работа которых связана с выделением большого количества теплоты (контактные соединения нагревательных элементов, резисторов). В зависимости от климатического исполнения и категории размещения электрических устройств контактные соединения подразделяют на две группы — А и Б.

Ко всем контактным соединениям предъявляют определенные технические требования, в том числе к конструкции, электрическим параметрам, устойчивости к механическим факторам, надежности и безопасности.

По конструктивному исполнению контактные соединения разделяют на разборные и неразборные.

Разборные соединения в зависимости от материала соединяемых проводников, климатического исполнения и категории размещения электрических устройств различают со средствами стабилизации электрического сопротивления и без них.

Основные способы конструктивного исполнения контактных соединений приведены в карте 20.

Инструкционная карта 20

Способы конструктивного исполнения контактных соединений

Область применения — разборные и неразборные электрические контактные соединения шин, проводов или кабелей из меди, алюминия и

его сплавов, алюминиевых проводов с выводами электрических установок, а также контактных соединения жил проводников между собой.

Учебная цель — изучить наиболее распространенные конструктивные исполнение контактных соединений.

Требования. Контакт детали с двумя и более отверстиями под болты в поперечном ряду рекомендуется выполнять с продольными разрезами. Рабочие поверхности контактных соединений с линейной арматурой готовят:

- Медные (без покрытия) и алюмомедные зачищают (при зачистке алюминиевых жил не допускается повреждение медной оболочки),
- Алюминиевые и из алюминиевых сплавов зачищают и покрывают нейтральной смазкой (вазелин КВЗ, ЦИАТИМ-22 или другие с аналогичными свойствами).

Рабочие поверхности с защитными металлическими покрытиями промывают органическими растворителями.

Рабочие поверхности медных контактов деталей, соединяемых опрессовкой, обычно зачищают, а рабочие поверхности алюминиевых контактов- деталей зачищают и покрывают кварцевазелиновой пастой или другими смазками или пайкой, предварительно зачищают, обезжиривают или протравливают.

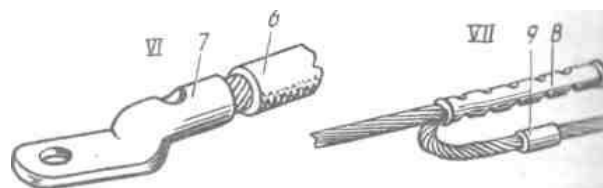
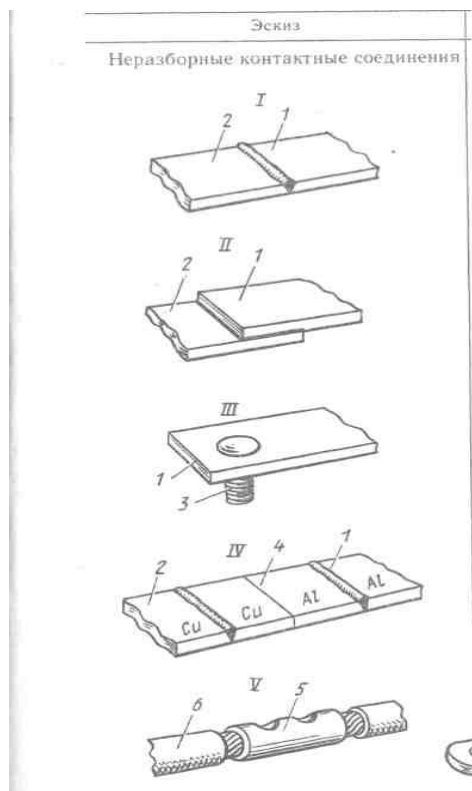
Разборные контактные соединения жил проводов и кабелей с плоскими или штыревыми выводами выполняют:

однопроволочных сечением до 16мм²-после оконцевания наконечниками или непосредственно формирование в кольцо или без него с предохранением в обоих случаях от выдавливания фасонными шайбами или другими способами;

сечением 25 мм² и более — после оконцевания наконечниками или формированием конца жилы в плоскую зажимную часть с отверстием под болт;

многопроволочных сечением до 10 после оконцевания наконечниками или непосредственно формирование то либо без него с предохранением в обоих случаях от выдавливал сонными шайбами или другими способами;

сечением 16 мм² и более - после оконцевания наконечниками. Рекомендуется присоединять к каждом и винту плоского вывода либо к штыревому выводу не более двух проводников. Винты применяют с цилиндрической или шестигранной головкой.



Неразборные контактные соединения выполняются сваркой, пайкой, или опрессовкой (допускаются способы, указанные в стандартах или в условиях).

Сварку применяют электрическую (методом контактного разогрева или электрической дугой), газовую или термитную. Пайку в зависимости от материала жил проводов, кабелей или контакт-деталей выполняют мягкими или твердыми припоями, опрессовку — методом местного сплошного обжатия и комбинированным (сплошное обжатие и местное вдавливание).

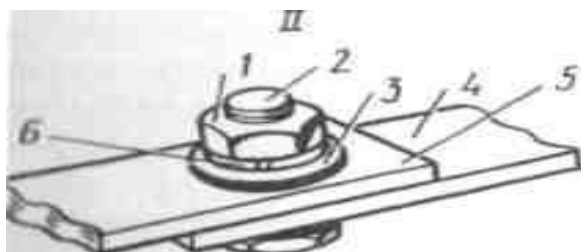
Сваркой или пайкой должны выполнять соединения пластин из твердого сплава и части медноалюминиевых пластин с алюминийшпиками (выводами), сваркой или опрессовкой — наконечников из твердого алюминиевого алюминиевой части медноалюминиевых наконечников алюминиевыми жилами проводов и кабелей.

На эскизах показаны соединения:

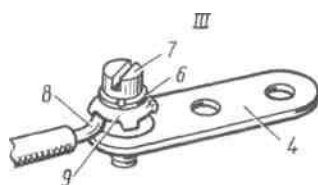
двух шин или плоского вывода 2 и шины / встык дуговой или газовой сваркой (7);

двух шин внахлест к шине с штыревым выводом 3 электрически газовой сваркой (///);

Разборные контактные соединения проводников с плоскими выводами без средств стабилизации электрического сопротивления

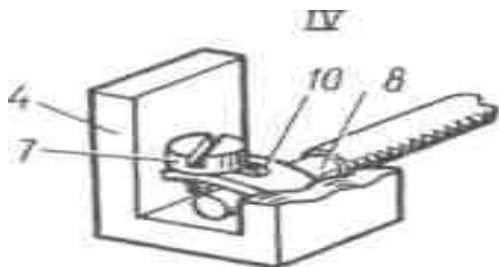


На эскизах показаны соединения :



- однопроволочной жилы 8 провода или кабеля сечением до 10 мм², изогнутой в кольцо, с плоским выводом 4 и при помощи винта 7, пружинной шайбой 6 и фасонной шайбой (шайба-звездочка) 9;

- однопроволочной жилы 8 провода или кабеля сечением до 10 мм² без изгибания в кольцо с плоским выводом 4 при помощи винта 7 и фасонной арочной шайбы 10 (IV).



Такие соединения выполняют без средств стабилизации электрического сопротивления стальными крепежными изделиями, защищенными от коррозии

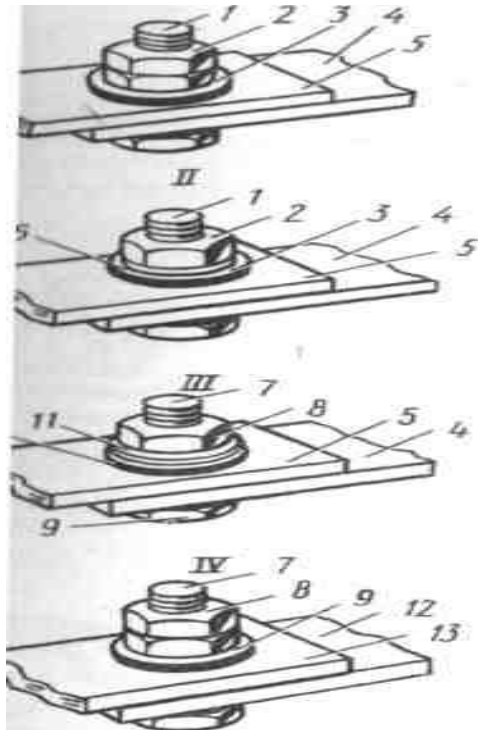
На эскизах показаны соединения:

- шины (кабельного наконечника) 4 с плоским выводом (шиной) 5 с помощью крепежа из цветного металла (болта 1, гайки с контргайкой 2) и шайбы 3 (I);

- шины 4 с плоским выводом 5 с помощью крепежа из цветного металла, шайбы 3 и пружинной шайбы 6 (II);

- шины 4 с плоским выводом 5 с помощью стального крепежа, болта 7 и гайки 8 с защитным металлическим покрытием рабочих поверхностей, стальной шайбы и стальной увеличенной шайбы 10, тарельчатой пружинной шайбы 11 (III);

- шины 4 с плоским выводом 5 с помощью стального крепежа с защитным металлическим покрытием рабочих поверхностей, контргайки и пружинной шайбы 9 (IV).



Такие соединения выполняют с одним средством стабилизации электрических сопротивлений или несколькими.

Для соединений используют:

крепежные изделия из цветных металлов с коэффициентом линейного расширения от $18 \cdot 10^{-6}$ до $21 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;

тарельчатые пружины;

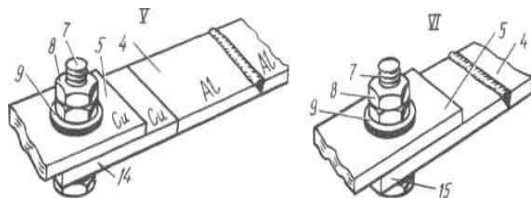
защитные металлические покрытия 12 и 13 рабочих поверхностей;

переходные детали в виде медноалюминиевых пластин 14 (V);

медноалюминиевые наконечники и аппаратные зажимы из плакированного алюминия;

переходные детали в виде пластин 15 (VI) и наконечников из твердого алюминиевого сплава (с временным сопротивлением разрыву не менее 130 МПа);

штифтовые наконечники из твердого алюминиевого сплава; штифтовые медноалюминиевые наконечники



Задание:

1. Изучить разъемные и неразъемные контактные соединения
2. Расчитать сечение и выбрать марки проводов для монтажа электропроводки в лаборатории спецтехнологии, если лаборатория имеет 10 рабочих стендов с установленными щитками. Электрическая мощность, которую можно подключить к одному щитку, 2,5 кВт. Напряжение сети 220 В.

Определить наибольшую токовую нагрузку магистрали, выполненную проводами ПР, и сечение жил при различных вариантах выполнения электросети напряжением 220 В:

- а) при двухпроводной линии;
- б) при трехпроводной линии трехфазного тока.

3. Нагрузка на провода должна быть рассчитана достаточно точно, так как завышенная нагрузка приведет к выбору провода большего сечения, а заниженная — меньшего сечения, что в целом экономически невыгодно, так как возникнут лишние потери электроэнергии и напряжения в проводах

Контрольные вопросы

1. Что используется в качестве средств стабилизации напряжения?
2. Перечислите зажимные шайбы?
3. Назовите основные требования при выборе марки провода?

ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: УСТРОЙСТВО И ИСПЫТАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЛЕ

Цель. 1.Познакомить учащихся с устройством и принципом работы тепловых реле.

2. Научить учащихся производить испытания и анализировать технические характеристики с номинальными.

Материально-техническое оснащение.

1. Тепловое реле ХРН-8—2 шт.
2. Автотрансформатор (ЛАТР) — 1 шт.
3. Нагрузочный трансформатор 220/12 В— 1 шт.
4. Амперметр на 10 А—1 шт.
5. Электрический секундомер — 1 шт.
6. Кнопка управления— 1 шт.
7. Сигнальная лампа —2 шт.
8. Соединительные провода.

9. Плакат с изображением схемы устройства теплового реле.

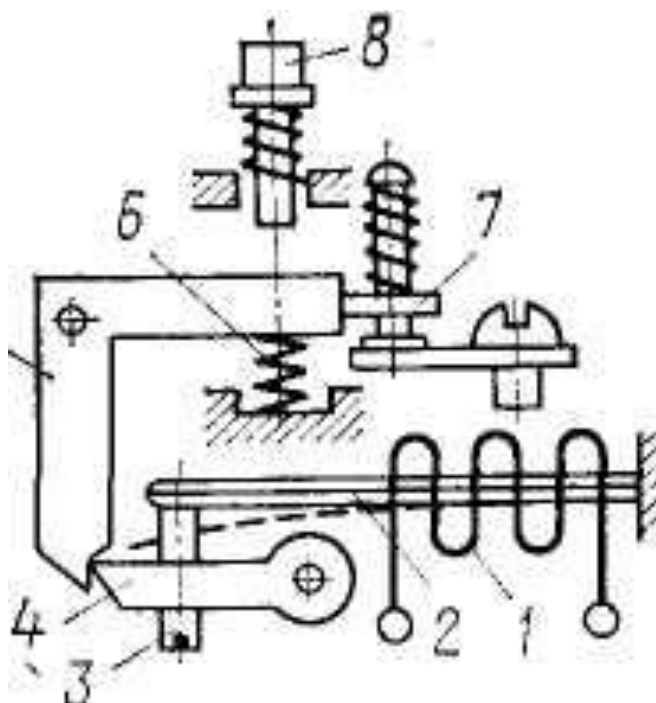


Рис. 26

Описание работы.

Тепловое реле применяют для защиты электродвигателя от небольших длительных перегрузок, при которых может возникнуть опасность разрушения изоляции электрооборудования. Тепловое реле защищает также двигатель переменного тока при обрыве одного из проводов питающей линии, (так как в этом случае ток в двух неповрежденных фазах становится выше номинального. По этой причине включают нагревательные элементы теплового реле в две фазы электродвигателя переменного тока. Обычно тепловые реле встраивают в магнитные пускатели.

Главным элементом теплового реле (рис. 26) является биметаллическая пластинка 2, состоящая из двух сваренных между собой пластинок металлов с различными коэффициентами температурного линейного расширения.

При увеличении тока пластинка нагревается и изгибается в сторону пластинки с меньшим температурным коэффициентом. Обычно верхняя

пластинка расширяется больше, а нижняя меньше, что приводит к изгибу вниз всей биметаллической пластинки при ее нагреве. Нагрев происходит при прохождении тока через нагревательный элемент, расположенный вблизи биметаллической пластинки или непосредственно через саму пластинку.

Тепловое реле состоит:

- нихромового нагревательного элемента 1, по которому проходит ток главной цепи,
- нагревающий биметаллическую пластинку 2.
- При определенном значении тока пластинка изгибается и нажимает на винт 3
- защелки 4, которая выводит за зацепления с ней рычаг 5
- . Под действием пружины 6
- рычаг поворачивается и отжимает подвижный контакт 7, что приводит к

цепи.

размыканию электрической

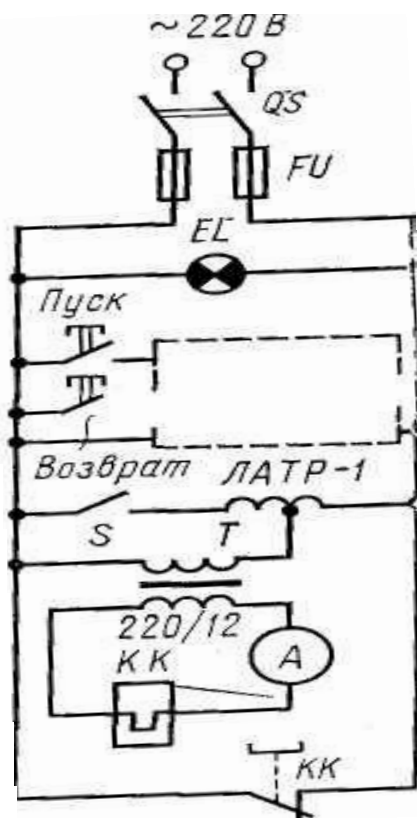


Рис 27

Возврат реле в исходное положение производят нажатием кнопки 8 после охлаждения биметаллической пластинки через 1—2 мин. Рычаг 5 устанавливается в исходное положение. Пунктиром показана изогнутая пластинка. Тепловое реле не защищает электродвигатель от токов

короткого замыкания в связи с большой тепловой инерционностью биметаллической пластинки.

Уставку теплового реле изменяют двумя способами: подбором соответствующего нагревательного элемента или более плавно с помощью регулировочного винта, которым можно менять положение упорной планки, а следовательно, и необходимый для срабатывания реле угол изгиба биметаллической пластинки. Время срабатывания теплового реле, т. е. время от момента возникновения тока перегрузки до момента срабатывания, зависит от перегрузки электродвигателя: чем выше ток перегрузки, тем меньше время срабатывания реле.

Последовательность выполнения

1. Изучить описание к практической работе и рекомендуемую техническую литературу.

2. Изучить устройство теплового реле по образцу.

3. Составить схему принципа работы теплового реле.

Внимательно изучить схему установки для испытания теплового реле (рис. 27).

4. Собрать схему для испытания нагревательного элемента теплового реле. Опытным путем определить номинальный ток нагревательного элемента $I_{эл.н.}$, соблюдая такую последовательность:

а) установить автотрансформатором максимальный ток нагревательного элемента (задается преподавателем) и по секундомеру определить время срабатывания теплового реле. Момент срабатывания фиксируется по амперметру. В момент эксперимента необходимо автотрансформатором поддерживать постоянное значение тока нагревательного элемента. Секундомер включен на входные зажимы установки и управляется двумя кнопками: пусковой и кнопкой возврата. Отсчет времени производится до тех пор, пока нажата пусковая кнопка. Для

возврата стрелки секундомера в нулевое положение не обходимо
кратковременно нажать на кнопку возврата;

б) эксперимент повторять, каждый раз уменьшая ток
нагревательного элемента, до тех пор, пока при обтекании током
нагревательного элемента реле не сработает за 5—10 мин;

в) построить в масштабе по данным эксперимента зависимость
времени срабатывания реле от силы тока

$$t=f(I)$$

г) полученную кривую продолжить до значения времени
срабатывания $I_{срб}=20$ мин;

д) используя полученную кривую, определить номинальный ток
нагревательного элемента расчетным путем по формуле

$$I_{эл.н} = I_{ногр}/1,2 \text{ A}$$

Момент срабатывания теплового реле определять по сигнальной
лампе. После каждого эксперимента в схему включать снова остывшее
тепловое реле, каждый раз нажимая на кнопку возврата реле в исходное
положение.

6. Определить время срабатывания теплового реле при одном и том
же токе нагревательного элемента, но при крайних значениях
регулировочного винта. Убедиться, что каждое деление регулировочного
винта соответствует изменению тока уставки на $0,05 I_{эл.н}$ (плюс означает уве-
личение тока уставки, минус — уменьшение).

7. Результаты показать преподавателю и получить
разрешение на разборку схемы.

Контрольные вопросы

1. Назначение и применение тепловых реле?
2. Маркировка, графическое и буквенное обозначение?
3. Основные узлы КК?

Литература.

1. Сибикин Ю.Д. Техническое обслуживание и ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий.- М. Академия. 2009г
2. Макаренко Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования станций и подстанций. М. Академия. 2009г
3. Семенов В. А. Справочник молодого электромонтера по ремонту электрооборудования промышленных предприятий.— М.: Высшая школа, 2012, гл. VI.

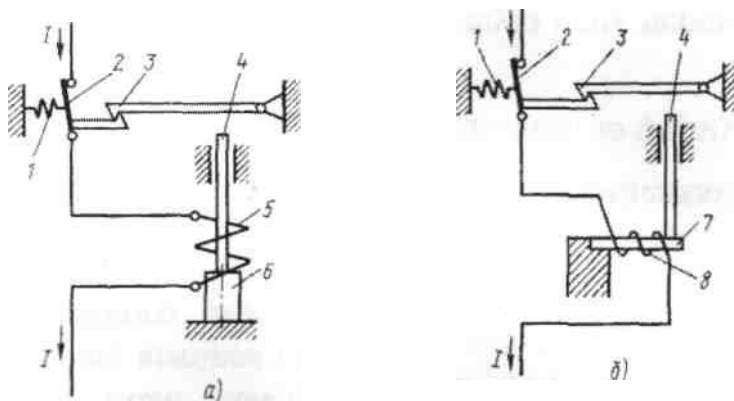
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

**Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАВОК РАСЦЕПИТЕЛЕИ
АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

Цель. 1. Научить учащихся рассчитывать и правильно выбирать для защиты электроустановок автоматические выключатели.

Описание работы.

Автоматические выключатели (рис. 7) — это аппараты, которые предназначены для нечастых включений и отключений электрических цепей и защиты электрических установок от перегрузок, коротких замыканий, повышенного и пониженного напряжения и других аварийных режимов.



Наибольшее распространение имеют автоматические выключатели серий АЕ100, АЕ1000, АЕ2000, АЗ700, АК63

Главной частью автоматического выключателя является расцепитель. Расцепители обеспечивают включение и моментное отключение контактов автомата.

Расцепители автоматических выключателей могут быть:

- электромагнитными,
- тепловыми
- комбинированными (с тепловыми и электромагнитными элементами),
- а также полупроводниковыми.

Электромагнитный расцепитель (см. рис. 7, а) представляет собой катушку с сердечником, т. е. якорем и пружинным устройством. Когда ток в защищаемой цепи превысит определенную величину, сердечник 6 втягивается в катушку 5 и через рычаг 4 освободит защелку 3. Под действием пружины 1 контакт 2 разомкнет главную цепь.

Тепловой расцепитель (см. рис. 7, б) представляет собой биметаллическую пластинку из двух металлов с различными коэффициентами удлинения. При прохождении тока через нагреватель пластинка нагревается и, изгибаясь, при определенном значении тока размыкает цепь.

Контакт 2 главной цепи замыкают вручную кнопкой или рукояткой. В замкнутом положении он удерживается защелкой 3. При прохождении по цепи тока, величина которого меньше определенного, пластина 7 нагревается слабо и изгиб ее недостаточен для того, чтобы передать усилие на защелку 3. Когда по спирали нагревателя 8 будет проходить ток, величина которого превысит определенное значение, то через некоторое время правый конец пластины 7 изогнется настолько, что толкатель 4 поднимет рычаг защелки 3 и под действием пружины / разомкнется контакт 2.

Комбинированный расцепитель совмещает электромагнитный и тепловой. Электромагнитный расцепитель, срабатывая мгновенно, осуществляет защиту от короткого замыкания, а тепловой — от тока перегрузки. В этом случае обмотки электромагнитов и нагревательные элементы тепловых расцепителей включают последовательно приемнику электрической энергии.

Итак, при выборе автоматических выключателей сначала рассчитывают номинальный ток цепи и учитывают, что для всех видов электрических приемников номинальный ток расцепителя должен удовлетворять требованию

$$I_{н.расц.} > I_p$$

Где $I_{н.расц}$ —номинальный ток расцепителя, А;

I_p — расчетный длительный ток цепи, А.

Определение уставок автоматических выключателей производят, выполняя следующие **условия**:

1. Номинальный ток теплового расцепителя выбирают только по расчетному длительному току линии:

$$I_{т.расц} > I_{расч. дл}$$

2. Номинальный ток электромагнитного или комбинированного расцепителя автоматических выключателей выбирают также по расчетному длительному току линии: **$I_{эл.расц} > I_{расч. дл}$**

3. Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя $I_{сраб.эл.}$ проверяют по кратковременному максимальному току линии:

$$I_{сраб.эл} > k I_{макс},$$

где k —коэффициент, учитывающий неточность и разброс характеристик.

Для большинства автоматических выключателей **$k=1,25$** , а для автоматов серий АЗ100, АЕ-2000, АК-63 и др. **$k=1,4$** .

Поскольку пусковой ток $I_{пуск}$ электродвигателей в 3,5—7 раз превышает номинальное значение тока I_n , выбор автоматического выключателя производят с учетом этих токов.

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{сраб.эл}$ должен быть не менее 1,25 пускового тока электродвигателя:

$$I_{сраб.эл.} > 1,25 I_{пуск}$$

Следовательно, максимальный ток, идущий к одиночному электродвигателю, равен его пусковому току:

$$I_{\max} = I_{\text{пуск}}$$

Для цепей с одиночным электродвигателем используют автоматические выключатели с комбинированными расцепителями, а для цепей с группой электродвигателей — с электромагнитными расцепителями.

При этом величина тока срабатывания расцепителя должна превышать максимальную величину тока, который определяют как сумму номинальных токов наибольшего количества включенных электродвигателей (приемников) при условии пуска двигателя с максимальным пусковым током:

$$I_{\max} = K_{\text{одн.}} \cdot I_n + I_{\text{пуск. max}}$$

где I_{\max} — максимальный ток, А;

n — число всех электродвигателей (приемников);

$K_{\text{одн.}}$ - коэффициент одновременной работы электродвигателей (приемников);

I_n - номинальный ток электродвигателя (приемника);

$I_{\text{пуск. max}}$ - пусковой ток электродвигателя, который из группы имеет наибольший пусковой ток;

I_n — сумма всех номинальных токов всех электродвигателей группы.

При установке автоматических выключателей в закрытом шкафу условия охлаждения их ухудшаются, поэтому номинальный ток теплового или комбинированного расцепителей уменьшается до 85% номинальных значений и определяется по формуле:

$$I_{n \cdot \text{расц}} = I_{\text{раб}} / 0,85.$$

Пример расчета. Для защиты осветительной электроустановки общей мощностью 6 кВт необходимо выбрать автоматический выключатель (рис. 7). Электроустановка работает при номинальном напряжении сети $U_n=220$ В.

Последовательность выполнения

1. Определяем расчетный ток:

$$I_p = K_c P_y / U_n = P_p / U_n = 1 \times 6 \times 1000 / 220 = 6000 / 220 = 27,3 \text{ А}$$

2. Находим пусковой ток(в этом случае пусковой ток равен расчетному)

$$I_{\text{пуск}} = I_p = 27,3 \text{ А}$$

3. Рассчитываем ток срабатывания расцепителя:

$$I_{\text{сраб}} > 1,25 I_{\text{пуск}} = 1,25 \times 27,3 = 34 \text{ А.}$$

4. Выбираем автоматический выключатель АЗ 161 на номинальный ток 50 А с тепловым расцепителем на 40 А, установленный открыто, вне шкафа.

Задание.

1. Выбрать автоматический выключатель для управления и защиты группы ламп накаливания общей номинальной мощностью $P_n = 3$ кВт. Номинальное напряжение сети $U_n = 220$ В (приложение 10).

2. Выбрать автоматический выключатель с установкой его вне шкафа для защиты цепи одиночного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя типа 4А71В4УЗ. Условия пуска электродвигателя легкие. Номинальное напряжение сети $U_n = 380$ В. Технические данные электродвигателя приведены в приложении 9.

(Ответ: АЕ-203610Р на 25 А с настройкой на 2,16 А при установке вне шкафа.)

3. Выбрать автоматический выключатель для защиты линии к короткозамкнутому электродвигателю типа 4А16082УЗ; $P_n = 15$ кВт, напряжение сети $U_n = 380$ В. Условия пуска — легкие. Автоматический выключатель установлен в шкафу. Технические данные электродвигателя приведены в приложении 9.

4. Выбрать автоматический выключатель для защиты линии к короткозамкнутому асинхронному электродвигателю типа 4А71В4УЗ. Напряжение сети $U_n = 380$ В. Условия пуска электродвигателя — легкие. Автоматический выключатель установлен в шкафу. Технические данные электродвигателя приведены в приложении 9.

(Ответ: АЕ-203610Р на 25 А с настройкой на 2,54 А при установке внутри шкафа.)

5. От силового шкафа питаются два трехфазных электродвигателя М1 и М2 типов 4А71В4УЗ и 4А100Б2УЗ, работающие одновременно (рис. 8). Напряжение сети $U_n = 380$ В. Условия пуска электродвигателей — 1 легкие. Выбрать автоматические выключатели *QF1* и *QF2* с установкой их в закрытом шкафу. Технические данные электродвигателей приведены в приложении 9.

(Ответ для М1 — АЕ03610Р на 25А с настройкой Н5 2,5 А; для М2 — АЕ-20361Р на 125 А с настройкой на 12,3 А.)

Контрольные вопросы

1. Назначение и применение автоматических выключателей?
2. Маркировка автоматических выключателей?
3. Основные узлы QF?

Литература.

1. Сибикин Ю.Д. Техническое обслуживание и ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий .- М. Академия. 2009г
2. Макаренко Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования станций и подстанций. М. Академия. 2009г

ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: ПРОВЕРКА ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВОЧНЫХ ОДНОФАЗНЫХ И ТРЕХФАЗНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ТЕПЛОВЫМИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ РАСЦЕПИТЕЛЯМИ

Цель. 1. Научить обучающихся определять тип расцепителей автоматических выключателей.

2. Научить обучающихся проверять действия расцепителей установочных однофазных и трехфазных автоматических выключателей с тепловым и электромагнитным расцепителями.

Материально-техническое оснащение.

1. Однофазный автоматический выключатель — 1 шт.
2. Трехфазный автоматический выключатель — 1 шт.
3. Переменный резистор -1шт.
4. Трансформатор тока—1 шт.
5. Нагрузочный трансформатор—1 шт.
6. Амперметр — 1 шт.
7. Тепловой расцепитель—1 шт.
8. Электромагнитный расцепитель—1 шт.
9. Перемычка — 2 шт.
10. Плакат-схема проверки тепловых и электромагнитных расцепителей автоматических выключателей.
11. Паспортные данные автоматов

Описание работы. При ведении электромонтажных работ возникают случаи, когда на месте установки автоматического выключателя необходимо проверить соответствие фактических уставок тепловых или электромагнитных расцепителей их номинальным данным.

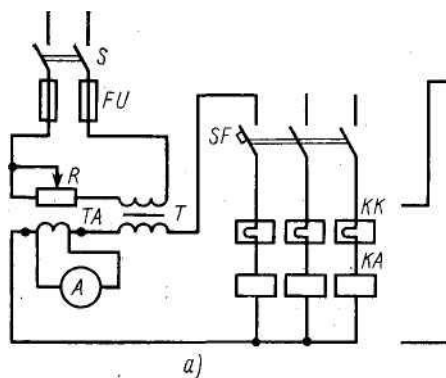


Рис. 31

Тепловые расцепители проверяют на срабатывание при однополюсной нагрузке испытательным током, равным двух- или трехкратному номинальному току расцепителя автоматического выключателя. После проверки действия в однофазном режиме тепловые элементы проверяют тем же током в трехфазном режиме. Аналогично, в трехфазном режиме определяют начальные токи срабатывания расцепителей. Ток срабатывания расцепителя $I_{ср}$ должен находиться в нормируемых пределах согласно паспортным данным.

Схема испытания расцепителей автоматических выключателей приведена на рис. 31, а, б. Проверку электромагнитных элементов производят отдельно у каждого полюса автоматического выключателя. В этом случае испытательный ток $I_{и}$ подводят от нагрузочного устройства. Сначала этот ток должен быть ниже тока уставки I_y . Затем испытательный ток увеличивают до тока отключения автоматического выключателя. Ток срабатывания $I_{ср}$ должен соответствовать нормам, указанным в техническом паспорте.

Задание.

Проверить действия расцепителей автоматических выключателей и сравнить полученные данные с паспортными.

Последовательность выполнения

1. Изучить описание практической работы и рекомендованную учебную и техническую литературу.

2. Изучить устройство установочных автоматических выключателей и их паспортные данные.

3. Ознакомиться со схемой проверки тепловых и электромагнитных расцепителей установочных автоматических выключателей и приборами, аппаратами схемы (рис. 31, а, б).

4. Собрать схему для проверки тепловых элементов на срабатывание при однополюсной нагрузке автоматического выключателя и показать преподавателю (рис. 31, а).

5. Установить испытательный ток I_n равным двух- или трехкратному значению номинального тока расцепителя автомата и результат записать. Затем, используя схему на рис. 31, б, определить начальные токи срабатывания расцепителей в трехфазном режиме и данные записать.

6. Произвести проверку электромагнитных элементов в отдельности у каждого полюса автоматического выключателя, полученные данные записать и сравнить с паспортными данными автоматического выключателя.

7. Результаты показать преподавателю и получить разрешение на разборку схемы.

Контрольные вопросы

1. Назначение и применение автоматических выключателей?

2. Маркировка, графическое и буквенное обозначение?

3. Основные узлы автоматических выключателей?
4. Перечислите типы расцепителей?

ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 16

Тема: Выбор электрических аппаратов

Цель. 1. Научить учащихся рассчитывать электрические параметры аппаратов, определять токи уставок и максимума.

2. Научить учащихся проверять действия расцепителей установочных однофазных и трехфазных автоматических выключателей с тепловым и электромагнитным расцепителями.

Описание работы

Для определения соответствия этих параметров электрических аппаратов условиям работы электроустановки должны быть предварительно определены токи короткого замыкания. Их расчет проводится применительно к конкретным схемам электроустановок

Автоматические выключатели. Эти аппараты рекомендуется применять в ответственных установках при необходимости быстрого

Выбор электрических аппаратов осуществляется с учетом следующих показателей:

- коммутируемые аппаратом токи, напряжения и мощности,
- характер нагрузки — активная, индуктивная, емкостная, низкоомная, высокоомная и др.;
- число коммутируемых цепей;
- напряжение и токи цепей управления;
- режим работы аппарата — кратковременный, длительный повторно-кратковременный;
- условия работы аппарата — температура, влажность, давление, высота над уровнем моря, наличие вибрации и др.;
- способы монтажа аппарата;
- экономические и массогабаритные показатели;
- удобство сопряжения и электромагнитная совместимость с другими устройствами и аппаратами;
- стойкость к электрическим, механическим и термическим перегрузкам.

восстановления напряжения питания, дистанционного управления и комплексной защиты, а также в асинхронных электроприводах для

предотвращения однофазного режима работы двигателей. Их использование целесообразно также в электроприводах с малой частотой включения, где они обеспечивают включение и защиту двигателей и могут применяться вместо магнитных пускателей.

Автоматические выключатели выбираются:

- по номинальным току
- и напряжению,
- роду тока,
- предельной коммутационной способности,
- электродинамической и термической стойкости,
- времени выключения.

Все параметры автоматов должны соответствовать им их работе как в обычном, так и аварийном режимах, а конструктивное исполнение — условиям размещения.

Номинальный ток автомата должен быть не ниже тока продолжительного режима установки, а сам аппарат не должен отключаться при предусмотренных технологических перегрузках.

Проверка выбираемого автомата по условию защиты электроустановки от токов короткого замыкания состоит в сопоставлении тока короткого замыкания в установке с предельной коммутационной способностью автомата, которая должна быть выше этого тока.

Защита установки от перегрузок по току будет обеспечена, если номинальный ток автомата с тепловым расцепителем будет равен или несколько больше номинального тока защищаемого объекта.

Уставка тепловой и максимальной защит электродвигателей должна соответствовать уровням соответствующих токов двигателя. Максимальная токовая защита не должна срабатывать при пуске двигателя, для чего ее уставка $I_{y\text{тах}}$ выбирается по соотношению

$$I_{y \max} > k_p I_{\text{пуск}}$$

где k_p — коэффициент, учитывающий вид расцепителя и возможный разброс тока его срабатывания относительно уставки,

$$k_p = 1,5 \dots 2,2; I_{\text{пуск}} — \text{пусковой ток двигателя.}$$

Защита от перегрузки (тепловая защита) считается эффективной при следующем соотношении ее тока уставки $I_{y.t}$ и номинального тока двигателя

$$I_{y.t} = (1,2 \dots 1,4) I_{\text{ном}}.$$

Выбор или проверка автоматов по условиям стойкости при коротком замыкании осуществляется таким образом, чтобы значения предельной коммутационной способности, электродинамической и термической стойкости автоматов были не менее соответствующих параметров режима короткого замыкания в месте их установки, а именно:

- каталожная предельная коммутационная способность автомата должна быть не менее значения тока короткого замыкания, протекающего в цепи в момент размыкания контактов автомата;
- значение электродинамической стойкости автомата должно быть не менее амплитудного значения ударного тока короткого замыкания в месте установки автомата;
- тепловой импульс тока короткого замыкания не должен превышать указанное в каталоге значение термической стойкости автомата.

Параметры режима короткого замыкания при такой проверке определяются соответствующим расчетом [3, 8] или могут быть оценены по расчетным кривым [3].

Контакты, реле, магнитные пускатели. К числу показателей, по которым они выбираются, относятся характер и величина напряжений главной цепи и цепи управления (включающих катушек); коммутационная способность контактов и их количество, допустимая частота включений; режим работы; категория размещения; степень защиты от воздействия окружающей среды.

Дополнительно к этому реле, выполняющие функции управления и защиты, выбираются по роду входной воздействующей величины (ток, напряжение, мощность), выдержке времени (реле времени), коэффициенту возврата, времени срабатывания и отпускания.

Уставка тока реле максимального тока при защите асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором выбирается из соотношения

$$I_{y.T} = (1,2 \dots 1,3) I_{пуск},$$

а для асинхронных двигателей с фазным ротором и двигателей постоянного тока по формуле

$$I_{y.T} = (2 \dots 2,5) I_{ном}.$$

Выключатели и переключатели. Эти аппараты выбираются по роду и величине напряжения, току нагрузки, количеству переключений, которое они допускают по условиям механической и электрической износостойкости, а также конструктивному исполнению.

Кнопки и ключи управления. Они выбираются по роду и уровню напряжения, величине коммутируемого тока, количеству коммутируемых цепей, степени защиты и климатическому исполнению, электрической и механической износостойкости.

Последовательность выполнения

Пример 4.1. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа АМР132SM4 имеет следующие номинальные данные:

мощность $P_{ном} = 11 \text{ кВт}$,

фазное напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$,

КПД $\eta_{ном} = 87,5 \%$,

коэффициент мощности $\cos \phi_{ном} = 0,87$,

кратность пускового тока по отношению к номинальному току статора 7,5.

Задание: Выбрать автоматический выключатель, обеспечивающий включение двигателя и его максимальную и тепловую защиту.

Решение:

1. Определяем номинальный и пусковой ток статора двигателя:

$$I_{1ном} = P_{ном} / (3 U_{ном} \eta_{ном} \cos \phi_{ном}) = 11\,000 / (3 \cdot 220 \cdot 0,875 \cdot 0,87) = 22 \text{ А};$$

$$I_{Iпуск} = 7,5 I_{ном} = 7,5 \cdot 22 = 164 \text{ А}.$$

2. Ток срабатывания максимальной токовой защиты

$$I_{мах.з} = 1,5 I_{Iуд} = 1,5 \cdot 164 = 246 \text{ А}.$$

3. Ток срабатывания тепловой защиты

$$I_{т.з} = 1,2 I_{1ном} = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ А}.$$

Вывод: Для двигателя может быть выбран автомат типа ВА51Г25 (буква «Г» указывает его использование для защиты двигателей) с номинальным током 25 А с электромагнитным и тепловым расцепителями, уставки которых должны соответствовать расчетным значениям. Этот автомат должен быть проверен по условиям стойкости к токам короткого замыкания.

Задание.

1. Выбрать автоматический выключатель, обеспечивающий включение двигателя и его максимальную и тепловую защиту.

а) Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа АМР132SM4 имеет следующие номинальные данные:

мощность $P_{ном} = 16$ кВт,

фазное напряжение $U_{ном} = 380$ В,

КПД $\eta_{ном} = 88,5$ %,

коэффициент мощности $\cos \phi_{ном} = 0,89$,

кратность пускового тока по отношению к номинальному току статора 8.

б) Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа АМР132SM4 имеет следующие номинальные данные:

мощность $P_{ном} = 6$ кВт,

фазное напряжение $U_{ном} = 220$ В,

КПД $\eta_{ном} = 77,5$ %,

коэффициент мощности $\cos \phi_{ном} = 0,85$,

кратность пускового тока по отношению к номинальному току статора 12.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются электрические аппараты?
2. Какие аппараты относятся к аппаратам управления?
3. Назовите виды силовых коммутационных аппаратов ручного управления.
4. Что такое автоматический выключатель?
5. Какие виды защит может обеспечивать автоматический выключатель и за счет чего?
6. Что такое электромагнитный контактор?

7. В чем состоят особенности конструкции и работы бесконтактных и гибридных контакторов?
8. Каковы основное назначение и особенности исполнения магнитных пускателей?
9. Укажите назначение мягких пускателей.
10. Охарактеризуйте назначение и основные виды электромагнитных реле.
11. Опишите конструкцию и принцип действия электромагнитного реле.
12. Какие основные типы реле времени вы знаете?
13. Какие виды НКУ применяются в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве?
14. Какие условия должны учитываться при выборе электрических аппаратов?
15. По каким основным электрическим параметрам выбираются электрические аппараты?
16. Что такое предельная коммутационная способность, электродинамическая и термическая стойкость электрического аппарата?

Литература.

1. Москоленко В.В. Справочник электромонтера.- М. Академия. 2009г
2. Макаренко Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования станций и подстанций. М. Академия. 2009г
3. Семенов В. А. Справочник молодого электромонтера по ремонту электрооборудования промышленных предприятий.— М.: Высшая школа, 2012, гл. VI.

Практическая работа

Тема: «Ознакомление с измерительными приборами»

Время выполнения практической работы: 4 часа.

Цель работы: познакомиться с назначением измерительных приборов применяемых при эксплуатации устройств автоматики, научиться пользоваться приборами Ц4380, ЭК2346.

Приборы и инструменты: комбинированный прибор Ц4380, ЭК2346.

Порядок работы:

1. Ознакомление с назначением приборов и инструментов.
2. Получение навыка проведения измерений прибором Ц4380 и ЭК2346.

1 Ознакомление с назначением приборов и инструментов

Запустите презентацию «Измерительные приборы и инструменты СЦБ», составьте в отчете конспект с указанием типов приборов и инструментов, применяемых при наладке и обслуживании устройств автоматики.

Список и назначение приборов применяемых при техническом обслуживании и наладке устройств автоматики приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Назначение приборов

№	Прибор/инструмент	Назначение
1	2	3
1	Ампервольтметр ЭК2346	Измерение напряжения, тока и сопротивления
2	Комбинированный прибор Ц4380	Измерение напряжения, тока и сопротивления
3	Мультиметр цифровой В7-63	Измерение напряжения, тока (в том числе в кодовых и ТРЦ в широкополосном и селективном режиме), сопротивления и температуры.
4	Прибор цифровой ИВП-АЛСН	Измерение временных параметров кодовых сигналов АЛСН
5	Индикатор тока РЦ ИРЦ25/50(75)	Контроль сигнального тока в кодовых РЦ в селективном режиме
6	Преобразователь тока	Измерение сигнального тока в кодовых РЦ в

	селективный А9-1	селективном режиме
7	Измеритель сопротивления балласта ИСБ-1	Измерение сопротивления изоляции РЦ
8	Индикатор проверки чередования полярности ИПЧП	Контроль чередования фаз в смежных РЦ
9	Измеритель разности фаз ИРФ-1	Измерение разности фаз в фазочувствительных РЦ
10	Мегомметр ЭС0202/2 или М4100/3 на 500 В, М4100/4 на 1000 В	Измерение сопротивления изоляции монтажа и жил кабеля
11	Измеритель сопротивления заземления ЭС0201 или М416	Измерение сопротивления заземления
12	Индикатор тока ИТ-САУТ	Контроль сигнального тока в шлейфе САУТ
13	Вольтамперметр ЭВ2243 или М231	Измерение разности потенциалов «кабель-земля» и тока дренажа
14	Измеритель усилия перевода стрелки УКРУП	Измерение усилия перевода стрелки
15	Измеритель параметров реле Ф292 или секундомер электрический ПВ-53Л	Измерение времени замедления выключения сигнальных реле и переключения фидеров электропитания
16	Секундомер однострелочный СОППР-6Г-2	Измерение временных параметров автоматики на переездах
17	Шунт сопротивлением 0,06 Ом ШУ-1М	Проверка шунтовой чувствительности РЦ
18	Набор стрелочных щупов 2-4 мм на рукоятке	Проверка плотности прилегания острия к рамному рельсу
19	Рулетка измерительная 10 м	Измерение длины шлейфа САУТ и габарита напольных устройств СЦБ
20	Ареометр БОМЭ или АЭ-41	Проверка плотности электролита аккумуляторов
21	Аккумуляторный пробник	Проверка состояния аккумуляторов

2 Получение навыка проведения измерений прибором Ц4380 и ЭК2346

2.1 Настройка прибора на измерение

Фото приборов Ц4380 и ЭК2346 приведены соответственно на рисунках 1 и 2. Измерительные приборы имеют гнезда для подключения проводников и кнопки или переключатели для выбора рода тока, типа измеряемой величины.



Рисунок 1



Рисунок 2

Перед проведением измерений необходимо настроить измерительные приборы на измеряемую величину, род тока и выбрать предел измерений.

Для измерения напряжения проводники подключают к крайним двум выводам (рисунок 4 и 5). Род тока выбирают у Ц4380 нажатием кнопки со

знаком «—» (постоянный) или «~» (переменный), у ЭК2346 род тока выбирается переключателем.



Рисунок 3

Рисунок 4

Для настройки прибора на измерение напряжения необходимо перевести переключатель в положение «V». Если неизвестен диапазон измеряемого значения, то необходимо выбирать максимальный предел измерений. А затем постепенно переключать на более низкий. По возможности предел измерений подбирают так чтобы стрелка прибора находилась в правой части шкалы, в этом случае измеренные значения будут более точными.

Не забывайте правильно снимать данные со шкалы прибора, для переменного и постоянного тока шкалы отличаются (рисунок 5). По верхней шкале определяют переменное напряжение, по нижней – постоянное.



Рисунок 5

Для настройки измерительных приборов на измерение тока необходимо выбрать род тока, установить переключатель на необходимый диапазон ампер «А» или миллиампер «mA». Для измерения больших токов проводники к прибору Ц4380 подключаются к крайним выводам: «*» (общий) и «15А», переключатель диапазонов в этом случае устанавливается в положение «6/15».

Для измерения больших токов у прибора ЭК2346 имеется два диапазона «15А» и «6А». Положение переключателя диапазонов одинаково для диапазона 3А, 6А и 15А, Диапазон будет меняться подключением проводников к прибору. На рисунке 6 прибор настроен на измерение переменного тока до 6А.



Рисунок 6

Для измерения сопротивления измерительные приборы должны иметь источник питания. Для экономии батареи необходимо не забывать устанавливать прибор в положение «Выкл» по окончанию измерений.

Для измерения сопротивления до 100 Ом необходимо на приборе Ц4380 одновременно нажать две кнопки «—» и «кΩ» и установить переключатель в положение «Ω», у прибора ЭК2346 необходимо установить оба переключателя в положение «Ω» (рисунки 7, 8).



Рисунок 7

Рисунок 8

Этим режимом работы прибора пользуются при поиске неисправностей для определения целостности цепи («прозвонки»). При целостности проводов между двумя точками к которым подключен прибор стрелка прибора занимает левое положение.

Для настройки прибора на измерение сопротивления от 100 Ом до 1 кОм или от 1 кОм до 10 кОм меняют диапазон измерения переключателем. Настройку прибора на измерение кОм производят у Ц4380 нажатием одной кнопки «кΩ», у ЭК2346 установкой верхнего переключателя в положение «кΩ» (рисунки 9, 10).



Рисунок 9

Рисунок 10

В отчете подробно поясните назначение выводов и тумблеров прибора Ц4380 или ЭК2346.. Перечислите порядок действий при измерении постоянного и переменного напряжения и тока.

2.2 Определение измеренного значения

Для определения значения измеряемой величины необходимо сначала определить цену деления, а затем умножить цену деления на количество делений.

Пример 1: измерения производились на шкале 300 В переменного тока. Показания прибора приведены на рисунке 11.

Решение: разделим диапазон 300 В на количество делений равное 30. Получаем цену деления $300/30 = 10$ В. Умножаем показания шкалы 18 (не забывая что показания нужно смотреть по шкале переменного тока) на 10, получаем 180 В.

Пример 2: измерения производились на шкале 1,5 А постоянного тока. Показания прибора приведены на рисунке 12.

Решение: разделим диапазон 1,5 А на количество делений равное 30. Получаем цену деления $1,5/30 = 0,05$ В. Умножаем показания шкалы 25,9 (не забывая, что показания нужно смотреть по шкале постоянного тока) на 0,05 , получаем 1,295.



Рисунок 11



Рисунок 12

2.3Получения навыка снятия измерений с прибора

Определите по таблице 2 номера рисунков с показаниями прибора, диапазон измерений, род тока, измеряемую величину. В отчете вычертите показания прибора, укажите диапазон измерения, рассчитайте цену деления и измеренное значение.

Таблица 2

Бригада	Величина	Диапазон измерения	Род тока	Рисунок шкалы прибора
---------	----------	--------------------	----------	-----------------------

1	1 задание	вольты	600 В	–	13
	2 задание	амперы	0,6 А	~	19
	3 задание	Омы			18
2	1 задание	амперы	1,5 А	–	14
	2 задание	килоомы	1 кОм		20
	3 задание	вольты	15 В	~	17
3	1 задание	килоомы	10кОм		15
	2 задание	вольты	0,3 В	~	17
	3 задание	амперы	0,6 А	–	16
4	1 задание	милливольты	75 мВ	–	18
	2 задание	миллиамперы	6 мА	~	13
	3 задание	Омы			15
5	1 задание	миллиамперы	6мА	~	16
	2 задание	милливольты	75 мВ	–	14
	3 задание	килоомы			16
6	1 задание	вольты		~	17
	2 задание	амперы	15А	–	13
	3 задание	Омы			19

2.4 Выполнение измерения

Каждый студент бригады индивидуально проводит прибором одно измерение по заданию преподавателя.



Рисунок 13



Рисунок 14



Рисунок 15



Рисунок 16



Рисунок 17
Рисунок 18



Рисунок 19



Рисунок 20

3 Оформление отчета

Содержание отчета:

- 1) Название работы
- 2) Цель работы
- 3) По пункту 1:
 - перечисление приборов и инструментов, их применение;
- 4) По пункту 2:
 - назначение выводов и тумблеров прибора Ц4380 и ЭК2346;
 - порядок действий при измерении постоянного и переменного напряжения и тока.
 - рисунки шкалы прибора и пояснения при определении измеренного значения;
- 5) Вывод по работе

Лабораторно-практическая работа

Тема: Проведение испытательных работ оборудования подстанций.

Цель работы: Изучить этапы, сроки и объем технического обслуживания и испытательных работ на подстанциях.

Методическая часть работы

Работы по испытанию электрооборудования ТП проводят в сроки, совпадающие с проведением ремонта соответствующих ТП. Испытания электрооборудования могут выполняться только лабораториями, аттестованными и зарегистрированными в порядке, установленном Главгосэнергонадзором России.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ТП

К техническому обслуживанию ТП относятся работы, перечисленные в табл.

Таблица 1: Перечень работ по техническому обслуживанию ТП

Наименование работ	Периодичность проведения	Примечание
Очередные осмотры		
1. Осмотр ТП электромонтерами	Один раз в год	Заполняется листок осмотра
2. Осмотр инженерно- техническим персоналом выборочного числа ТП	Один раз в год	Заполняется листок осмотра
3. Осмотр ТП, включенных в годовой план-график ремонтов, инженерно-техническим персоналом	В течение года, предшествующего году проведения ремонта ТП	По результатам осмотра составляется ведомость ремонтных работ
Внеочередные осмотры		
4. Осмотр после стихийных	По окончании	Заполняется

явлений (осматриваются все ТП, находящиеся в зоне стихийных явлений)	внеочередного ремонта или на следующий день	листок осмотра
5. Осмотр ТП после каждого случая:		
срабатывания выключателей ТП на отключение КЗ (включение на КЗ)	При устранении причины и последствия или на следующий день	Заполняется листок осмотра
перегорания предохранителей	При замене патрона с плавкой вставкой	
6. Осмотр жизненно важных объектов (ЖВО)	Перед началом отопительного сезона Проверки	По результатам осмотра составляется ведомость ремонтных работ
7. Проверка строительной части ТП	В процессе осмотра (п.3)	Заполняется листок осмотра
8. Проверка целостности заземления ТП	Тоже	Тоже
Измерения		
9. Измерения токовой нагрузки на вводах 0,4 кВ силового трансформатора и отходящих линий	2 раза в год (в периоды минимальных и максимальных нагрузок)	Заполняются ведомости измерений
10. Измерение напряжения на шинах 0,4 кВ	Совмещается с замерами нагрузок	Тоже
11. Измерение уровня тока КЗ или сопротивления цепи «фаза-ноль» отходящих линий 0,4 кВ	По мере необходимости, но не реже 1 раза в 6 лет	Тоже
Испытания, измерения		
12. Измерение сопротивления	В сроки проведения	Заполняется

изоляции РУ 6-20 кВ и 0,4 кВ	ремонта ТП, но не реже 1 раза в 6 лет	журнал испытаний оборудования ТП
13. Измерение сопротивления вентильных разрядников	Тоже	Тоже
14. Измерение тока проводимости вентильных разрядников	Тоже	Тоже
15. Измерение сопротивления заземления или напряжения прикосновения к оболочкам и заземленным элементам	В сроки проведения ремонта ТП, один раз в 6 лет	Заполняется журнал испытаний оборудования ТП
16. Измерение сопротивления изоляции обмоток силовых трансформаторов	1 раз в 3 года	Тоже
17. Испытание оборудования и изоляции 6-10 кВ повышенным напряжением промышленной частоты 50 ГЦ	1 раз в 6 лет 1 раз в 6 лет	Тоже То же
18. Испытание трансформаторного масла силовых трансформаторов мощностью более 630 кВА	Тоже	То же
19. Проверка релейной защиты	1 раз в 3 года	Тоже
Отдельные работы		
20. Очистка изоляции оборудования ТП, аппаратов, баков и арматуры от пыли и грязи	По мере необходимости	
21. Зачистка, смазка и затяжка контактных соединений	Тоже	

22. Устранение разрегулировки Тоже механизмов приводов и контактной части выключателей и разъединителей (выключателей нагрузки)	
23. Текущий ремонт трансформатора	1 раз в 3 года
24. Смазка шарнирных соединений и трущихся поверхностей оборудования	По мере необходимости
25. Доливка свежего масла в маслонаполненные аппараты и оборудование, замена селикагеля	То же
26. Обновление и замена диспетчерских надписей, мнемонических схем, предупредительных плакатов и знаков безопасности в РУ 0,4- 10 кВ	То же
27. Замена плавких вставок предохранителя	При изменении режимов работы сети и параметров защищаемого оборудования, при перегорании плавких вставок
28. Ремонт крыши ТП	То же

При осмотрах и проверках ТП следует определять:

Техническое состояние элементов строительных конструкций ТП, шкафов, площадок обслуживания, Ограждений, заземляющих устройств, запорных и блокировочных устройств, приводов коммутационных аппаратов,

наличие и состояние диспетчерских и предупредительных надписей, плакатов.

Уровень масла в маслонаполненном оборудовании, появления течи масла из них, температуру масла и корпусов силовых трансформаторов, необычный гул, потрескивания в трансформаторах.

Состояние изоляции и контактных соединений электрооборудования (наличие трещин, сколов, следов перекрытия изоляции и перегрева контактов).

Наличие и исправность приборов учета электроэнергии, устройств внешнего обогрева оборудования, исправность релейной защиты и автоматики.

Результаты осмотров, проверок ТП вносятся в журнал дефектов из листков осмотра.

Измерения токовой нагрузки должны проводиться, как правило, на каждой фазе вводов 0,4 кВ силовых трансформаторов и отходящих линий электропередачи (при необходимости и в нулевом проводе). При разнице значений тока по фазам более 20 % следует наметить мероприятия по выравниванию нагрузки отдельных фаз.

На шинах 0,4 кВ ТП следует измерять фазные и линейные напряжения. При необходимости измеряются фазные напряжения у наиболее удаленного от ТП потребителя.

Измерения уровня тока короткого замыкания или сопротивления цепи "фаза-нуль", отходящих от ТП линий 0,38 кВ, должны выполняться для выбора или уточнения уставок автоматических выключателей или плавких вставок предохранителей 0,4 кВ.

ПЕРЕЧЕНЬ ДЕФЕКТОВ ТП

1. Бандаж: ослабление; коррозия
2. Ослабление стяжки траверсы со стойкой
3. Повреждение заземляющего спуска
4. Прогиб железобетонной стойки сверх допустимых значений ,
5. Повреждение хомута, узла крепления подкоса

6. Металлическая траверса: коррозия; разрушение; прогиб
7. Подтраверсник: загнивание; растрескивание
8. Коррозия кронштейна привода разъединителя
9. Коррозия кронштейна разрядника
10. Поперечина: загнивание; растрескивание
11. Коррозия тяги привода разъединителя
12. Повреждение кронштейна привода разъединителя
13. Повреждение кронштейна разрядника
14. Повреждение тяги привода разъединителя
15. Рама разъединителя: перекос; коррозия; повреждение
16. Площадки обслуживания: повреждение; коррозия
17. Фундаментная стойка, лежня: разрушение; оголение арматуры; растрескивание
18. Повреждение опорной рамы КТП, КРУН
19. Контур заземления: повреждение; сопротивление выше нормы
20. Шкафы, коробка КРУН: внешние повреждения: коррозия
21. Повреждение кронштейнов, штырей устройств вывода
22. Повреждение маслоприемника
23. Повреждение освещения ТП, РП

РУ 6-10КВ

1. Штыревые изоляторы: сколы; загрязнения; разрушение
2. Проходные изоляторы: сколы; загрязнения; разрушение
3. Опорные изоляторы: сколы; загрязнения; разрушение
4. Изоляторы муфты кабеля: сколы; загрязнения; разрушение
5. Повреждение уплотнения проходного изолятора
6. Повреждение корпуса муфты кабеля
7. Повреждение контактов разъединителя, выключателя нагрузки
8. Повреждение контактов предохранителя
9. Повреждение оболочки плавкой вставки предохранителя
10. Повреждение тяги привода разъединителя, выключателя нагрузки
11. Повышенный нагрев болтовых соединений ошиновки
12. Повреждение трансформатора тока
13. Повреждение трансформатора напряжения
14. Повреждение привода выключателя
15. Повреждение блокировки разъединителя, выключателя нагрузки
16. Повреждение блокировки выключателя (масляного, вакуумного)
17. Повреждение вентильного разрядника
18. Течь масла из маслонаполненного выключателя

19. Течь масла из трансформатора напряжения
20. Понижение масла в маслонаполненном аппарате
21. Повреждение устройства РЗиА
22. Повреждение устройства подогрева аппаратов
23. Повреждение компенсирующего устройства

Силовой трансформатор 6-10 кВ

1. Повреждение ввода 6-10 кВ
2. Течь масла
3. Повреждение корпуса трансформатора
4. Повышенный шум трансформатора
5. Повреждение ввода 0,4-0,23 кВ
6. Повреждение устройства регулирования напряжения
7. Повреждение термометра
8. Повреждение бака расширителя
9. Загрязнение корпуса трансформатора
10. Загрязнение ввода 0,23-10 кВ
11. Повреждение опорной части трансформатора
12. Повреждение указателя уровня масла
13. Дефект контакта ввода 0,4-10 кВ
14. Обрыв в цепи заземления корпуса
15. Обрыв (отсоединение) шины нейтрали
16. Изменение цвета силикагеля
17. Повреждение устройства регулирования нагрузки
18. Длительная нагрузка сверх допустимой
19. Недостаточный уровень масла

РУ 0,4 кВ

1. Скол опорного, проходного изолятора (втулки)
2. Загрязнение опорного, проходного изолятора
3. Разрушение опорного, проходного изолятора
4. Разрушение покрытия изолированного провода
5. Повреждение контактов рубильника
6. Повреждение контактов предохранителя
7. Повреждение оболочки плавкой вставки предохранителя
8. Наличие нестандартной плавкой вставки предохранителя
9. Повреждение рукоятки, тяги рубильника (выключателя)
10. Повышенный нагрев болтовых соединений шин
11. Повреждение шин
12. Повреждение трансформатора тока

13. Повреждение выключателя
14. Повреждение разрядника
15. Загрязнение изоляции разрядника
16. Повреждение счетчика электроэнергии
17. Повреждение устройства автоматики (АВР, АПВ и т. д.)
18. Повреждение конденсатора
19. Повреждение батареи конденсатора
20. Повреждение устройства включения уличного освещения
21. Повреждение устройств подогрева аппаратуры
22. Повреждение кабельной муфты кабельного ввода

Контрольные вопросы:

1. От чего зависят сроки проведения испытаний оборудования подстанций?
2. Какие дефекты выявляются при осмотрах?

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Ответы на контрольные вопросы.
4. Задание:

По перечисленным видам дефектов написать способы их устранения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию и методику испытаний трансформаторов тока.
2. Ознакомиться с выбором трансформаторов тока для целей измерения и подключения реле защиты.
3. Приобрести практические навыки в определении параметров и характеристик трансформаторов тока.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА

Измерительные трансформаторы тока (ИТТ) служат для преобразования токов первичных цепей в стандартные токи 5 или 1 А для измерительных приборов, устройств релейной защиты и автоматики. Нормально трансформаторы тока работают в режиме, близком к режиму короткого замыкания вторичной обмотки. Размыкание вторичной обмотки при наличии тока в первичной цепи недопустимо, так как при этом может быть повреждена изоляция трансформатора с вытекающими отсюда последствиями. Ток, измеряемый ИТТ, определяют по выражению: $I_1 \approx K_n I_2$, где: $K_n = I_{1n}/I_{2n}$ – номинальный коэффициент трансформации, представляющий отношение первичного ко вторичному номинальному току.

У трансформаторов тока различают три вида погрешностей:

- относительную токовую, равную в процентах:

$$I = (K_n I_2 - I_1) 100\% / I_1$$

- угловую δ , определяемую между вектором первичного I_1 и вторичного I_2 токов;
- полную ε .

Полная токовая погрешность представляет собой действующее значение разности произведения номинального коэффициента трансформации на мгновенное значение вторичного тока и мгновенного значения первичного тока в процентах:

$$\varepsilon = 100/I_1 \sqrt{(1/T) \int (K_n \cdot i_2 - i_1)^2 dt},$$

где: I_1 – действующее значение первичного тока; T – длительность периода; i_1 и i_2 – мгновенные значения первичного и вторичного токов.

На значения погрешностей влияет, в основном, ток намагничивания стали сердечника. Чем выше качество стали, чем больше начальная магнитная проницаемость, тем меньше ток намагничивания и тем стабильнее его значение. Для снижения погрешностей и повышения точности измерений применяются: холоднокатаная сталь, пермаллой, специальные схемы соединений обмоток, искусственное подмагничивание сердечника и другие средства. Применяемые для повышения точности измерений специальные материалы, средства и способы компенсации усложняют схемы, конструкции и удорожают аппарат. Надо иметь в виду, что применение трансформаторов высокой точности не всегда обязательно. Следует в зависимости от назначения по допустимым значениям погрешностей выбирать наиболее дешевый аппарат, подходящий по точности измерений. Для трансформаторов тока установлено пять классов точности в зависимости от максимальных величин погрешностей.

КЛАССЫ ТОЧНОСТИ И НАИБОЛЬШИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИТТ

Класс точности	Ток в первичной обмотке	Наибольшая погрешность		Примечание
		Токовая (%)	Угловая (мин)	
0,2	10	0,5	20	

	20 100-120	0,35 0,2	15 10	
0,5	10 20 100-120	1 0,75 0,5	60 50 40	
1	10 20 100-120	2 1,5 1	120 100 80	
3	50-120	3	Не нормируется	

Трансформаторы тока класса 0,2 применяются для точных измерений, проверок и исследований, ими оснащаются для точных измерений, проверок и исследований, или оснащаются электротехнические лаборатории электрических станций. Трансформаторы тока классов 0,5 и 1 устанавливаются в распределительных устройствах и служат для подключения щитовых измерительных приборов, расчетных и контрольных счетчиков. Для подключения расчетных счетчиков обязательно применяют ИТТ класса 0,5.

Трансформаторы тока классов 3 и 10 используются для подключения реле защиты и автоматики. В некоторых схемах релейных защит находят применение и специальные конструкции ИТТ, например с сердечниками типа Д для дифференциальной защиты и любых других защит, с сердечником типа Р для релейной защиты любого типа. Класс точности ИТТ существенно зависит от нагрузки вторичной цепи. Нагрузка ИТТ определяется либо мощностью S_2 и $\cos\varphi_2$ при номинальном токе I_2 , либо полным сопротивлением вторичной цепи:

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}.$$

Номинальной нагрузкой ИТТ является наибольшая мощность, при которой он работает в своем наивысшем классе точности. Подключение дополнительных приборов, т. е. увеличение нагрузки вторичной цепи, приводит к увеличению погрешностей и к снижению точности измерений, при выборе ИТТ для подключения измерительных приборов нужно соблюдать условие:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном.}}$$

При выборе трансформаторов тока в схемах релейных защит необходимо согласовать максимально допустимую нагрузку Z_2 его внешней вторичной цепи с величиной тока первичной цепи. Известно, что трансформаторы тока в схемах релейных защит должны надежно работать в режимах повышенных первичных токов, во много раз превышающих рабочие токи. Если первичный ток возрастает сверх $120 \% I_{1н}$, то ток намагничивания увеличивается, что приводит к большому насыщению стали сердечника и соответствующему увеличению погрешностей. Подобная картина наблюдается во время переходного процесса при коротком замыкании, что неблагоприятно отражается на работе релейных защит. Практикой наладки и эксплуатации релейных устройств установлено, что 10 %-я погрешность, т. е. полная погрешность ε , обусловленная током намагничивания не должна превышать 10 % первичного тока. В связи с этим ИТТ для устройств релейной защиты проверяют на точность работы по кривым предельной кратности, представляющим собой зависимости предельной кратности первичного тока от нагрузки вторичной обмотки: $K_{10}=I_{1\max}/I_{1н}=f(Z_2)$, при $\cos \varphi=0,8$, при условии, что полная погрешность равна 10 %.

Кривая кратностей в логарифмическом масштабе показана на рис. 11. Данные кривые позволяют по вычисленной кратности первичного тока определить максимальную допустимую нагрузку вторичной цепи ИТТ, при которой погрешность не превосходит допустимой ($\varepsilon = 10 \%$). Затем по установленной максимальной допустимой нагрузке, по известным сопротивлениям реле, а также по длине соединительных проводов определяется минимально необходимое сечение жил последних.

Важной характеристикой трансформатора тока (ТТ) является кривая намагничивания (вольт-амперная характеристика), по виду которой можно судить об исправности трансформаторов. В частности по виду характеристики намагничивания можно определить:

- наличие витковых замыканий во вторичной обмотке;
 - неисправности магнитопровода;
 - возможность совместного использования трансформаторов в схемах ДЗ
- (поскольку при почти совпадающих характеристиках трансформаторов, токи небаланса будут минимальными). Вольт-амперные характеристики

представляют собой зависимость напряжения, подводимого к вторичной обмотке, от пропускаемого через нее намагничивающего тока при разомкнутой первичной обмотке ИТТ

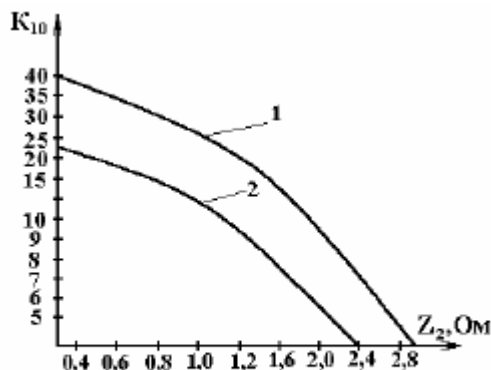


Рис. 11. Кривые 10 % погрешности ИТТ типа ТПОЛ:
1 – для сердечника Д;
2 – для сердечника класса 0,5

Рис. 11. Кривые 10 % погрешности ИТТ типа ТПОЛ:

1 – для сердечника Д; 2 – для сердечника класса 0,5

Характеристика снимается опытным путем по схеме, приведенной на рис. 12.

При включении ИТТ определяется 10–12 точек и по ним строится кривая зависимости $U_2 = f(I_2)$, которая и сравнивается с типовой характеристикой. При наличии в ИТТ короткозамкнутых витков характеристика намагничивания резко снижается, как показано на рис. 13 пунктиром

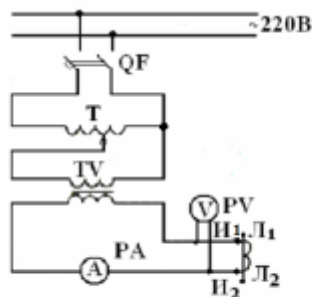


Рис. 12. Схема снятия характеристики намагничивания $U_2 = f(I_2)$

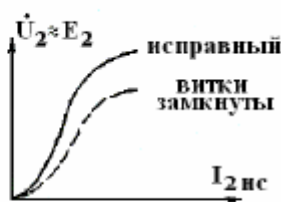


Рис. 13 Вольт-амперная характеристика

Зажимы обмоток маркируются: первичной – Л1 и Л2 и вторичной И1 и И2. Выбор одного из зажимов, например, первичной обмотки, который должен быть назван Л1 является произвольным. Но после этого за начало И1 вторичной обмотки принимается уже однозначно тот зажим, из которого мгновенный ток направляется во внешнюю цепь, когда в первичной обмотке он направлен от Л1 к Л2.

ИСПЫТАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Испытания ИТТ проводятся в объеме, предусмотренном ПУЭ:

Измерение сопротивления изоляции:

- а) первичных обмоток. Производится мегомметром на $U = 2500$ В. Величина сопротивления изоляции не нормируется;
- б) вторичных обмоток. Производится мегомметром на напряжение 500 или 1000 В. Сопротивление изоляции вторичных обмоток вместе с подсоединенными к ним цепями должно быть не менее 1 МОм.

Изменение тангенса угла диэлектрических потерь производится для трансформаторов тока на напряжение 110 кВ и выше.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты:

- а) изоляция первичных обмоток. Испытание является обязательным для трансформаторов до 35 кВ. Величины испытательных напряжений указаны в табл. 7.

ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Исполнение изоляции измерительного трансформатора	Испытательное напряжение, кВ, при номинальном напряжении, кВ					
	3	6	10	15	20	25
Нормальная	21,6	28,8	37,8	49,5	58,5	85,5
Ослабленная	9	14	22	33	-	-

Продолжительность приложения нормированного испытательного напряжения:

- для трансформаторов напряжения – 1 мин;
- для трансформатора тока с керамической, жидкой или бумажно-масляной изоляцией – 1 мин;

Рис. 12. Схема снятия характеристики намагничивания $U_2 = f(I_2)$

Рис. 13 Вольт-амперная характеристика

- для ИТТ с изоляцией из твердых органических материалов или кабельных масс – 5 мин.

б) изоляции вторичных обмоток. Величина испытательного напряжения для изоляции вторичных обмоток вместе с присоединенными к ним цепями составляет 1кВ.

Таблица 7

Измерение тока холостого хода производится для каскадных трансформаторов напряжением 110 кВ и выше на вторичной обмотке при номинальном напряжении.

Снятие характеристик намагничивания сердечника трансформаторов тока следует производить до номинального тока, если для этого не требуется напряжение выше 380 В. Для ИТТ, предназначенных для питания устройств релейной защиты, снятие характеристик производится током выше номинального до начала области насыщения.

Проверка полярности выводов ИТТ (или группы соединения у трехфазных трансформаторов напряжения) производится при монтаже, если отсутствуют паспортные данные или есть сомнения в достоверности этих данных.

Измерение коэффициента трансформации на всех ответвлениях производится для встроенных ИТТ и трансформаторов, имеющих переключающее устройство.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току производится у первичных обмоток трансформаторов тока напряжением 10кВ и выше, имеющих переключающие устройства. Отклонение измеренного значения сопротивления обмотки от паспортного не должно превышать 2 %.

Испытание трансформаторного масла производится для измерительных трансформаторов 35 кВ и выше, имеющих повышенное значение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

ПРОГРАММА РАБОТЫ:

Ознакомление с паспортными данными ИТТ типа: ТФН-35 М, ТНП-2, УТТ-5, ТКМ, ТПЛ-10, ТПОЛ-10, ТНШЛ. Изучение их конструкции. Ознакомление производится по заводским табличкам, имеющимся на каждом трансформаторе, используя каталоги. Данные свести в табл. 8.

Таблица 8

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ИЗУЧАЕМЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

№ п/п	Тип	U _н В	Класс точности	Номинальный ток		Допустимое Z ₂ в классе			Кратность тока (устойчивость)	
				I _{1н}	I _{2н}	0,5	1	3	динамическая	термическая

Проведение комплексных испытаний ИТТ указывается преподавателем, согласно ПУЭ:

- а) произвести проверку изоляции обмоток трансформаторов тока мегомметром;
- б) произвести проверку коэффициента трансформации ИТТ. Для чего собрать схему (рис. 14). Установить движок автотрансформатора в нулевое положение. Включить автомат QF и, увеличивая ток в первичной обмотке испытуемого трансформатора ТА2 до номинального, наблюдая за изменением тока в первичной обмотке по амперметру, включенному через образцовый измерительный трансформатор тока ТА1. По амперметру, включенному во вторичную обмотку испытуемого трансформатора ТА2, измерить величину вторичного тока. Вычислить коэффициент трансформации.
- в) снять кривые намагничивания сердечников трансформаторов тока для трех однотипных трансформаторов тока (по указанию преподавателя) и произвести анализ полученных кривых. Для этого:
 - собрать схему (см. рис. 14.);

Рис. Схема для определения коэффициента трансформации измерительного трансформатора тока

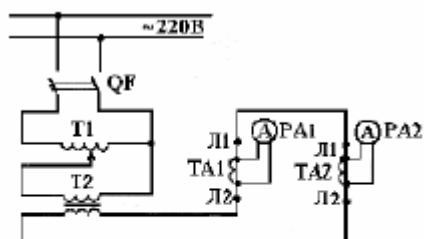


Рис. 14. Схема для определения коэффициента трансформации измерительного трансформатора тока

- включить выключатель QF и размагнитить сердечник трансформатора;
 - увеличивая ток во вторичной обмотке от 1 до 10А, снять показания вольтметра;
 - размагнитить сердечник, выключить автомат QF.
 - построить характеристику намагничивания и сравнить ее с характеристикой намагничивания сердечника исправного трансформатора тока;
- г) произвести проверку полярности выводов обмоток трансформатора тока, для чего собрать схему (рис. 15).

Рис. Схема проверки полярности выводов обмоток

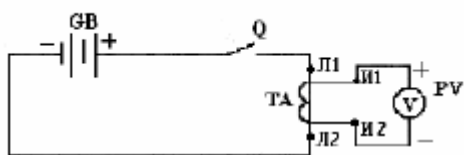


Рис. 15. Схема проверки полярности выводов обмоток

Включить и отключить рубильник Q, наблюдая за стрелкой вольтметра, по направлению отклонения стрелки прибора определить и отмаркировать выводы обмоток. Если в момент замыкания рубильника стрелка прибора при указанной полярности источника и прибора отклоняется вправо, то правый зажим прибора (+) укажет начало вторичной обмотки И1.

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ И АППАРАТУРЫ

1. Образцы трансформаторов тока УТТ-5, И54М, ТКМ, ТПЛ-10, ТПОЛ-10;
2. Мегомметры на 2500 и 500 В;
3. ЛАТР;
4. Нагрузочный трансформатор ОСО-0,25;
5. Аккумуляторная батарея 5 НКН;
6. Вольтметр постоянного тока на 15 В;
7. Два амперметра переменного тока на 10А и 15А;
8. Вольтметр переменного тока 15ч30 В;
9. Рубильник.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по работе должен содержать:

- 1) технические данные испытываемых трансформаторов тока (табл. 8);
- 2) электрические схемы испытания (3 схемы);
- 3) кривые намагничивания сердечников испытываемых трансформаторов тока на миллиметровой бумаге, 3ч4 кривых в одних осях;
- 4) результаты анализа кривых.

По полученным данным и графикам кривых определить:

- а) значение E_2 , при котором наступает насыщение;
- б) отсутствие витковых коротких замыканий;
- в) возможность использовать трансформаторы тока для дифференциальной защиты;
- г) допустимую нагрузку на трансформатор тока при заданном токе короткого замыкания.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего служат измерительные трансформаторы тока?

2. Какие виды погрешностей существуют у трансформаторов тока?
3. Какой электрический параметр учитывает нагрузку трансформаторов тока?
4. От чего зависят погрешности трансформаторов тока?
5. Сколько классов точности трансформаторов тока Вам известно?
6. Как правильно выбрать трансформатор тока для измерительных приборов?
7. Как правильно выбрать трансформатор тока для релейной защиты?
8. Что произойдет при разрыве вторичной цепи трансформатора тока, если по первичной обмотке протекает номинальный ток?
9. Как расшифровать следующие типы трансформаторов тока: ТПЛУ-10-0,5/P;
ТКЛ-3-0,5; ТПОЛМ-10-Р/Р; ТФНД-35-Д/Д/0,5; ТЗЛ; ТВОЛ-10-0,5/3;
ТПФМ-10-3/0,5; ТНП-4.

Изучение схем включения блокировки

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: «Изучение конструкции, технологии монтажа и схем включения магнитных пускателей»

Цель работы:

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия магнитных пускателей.

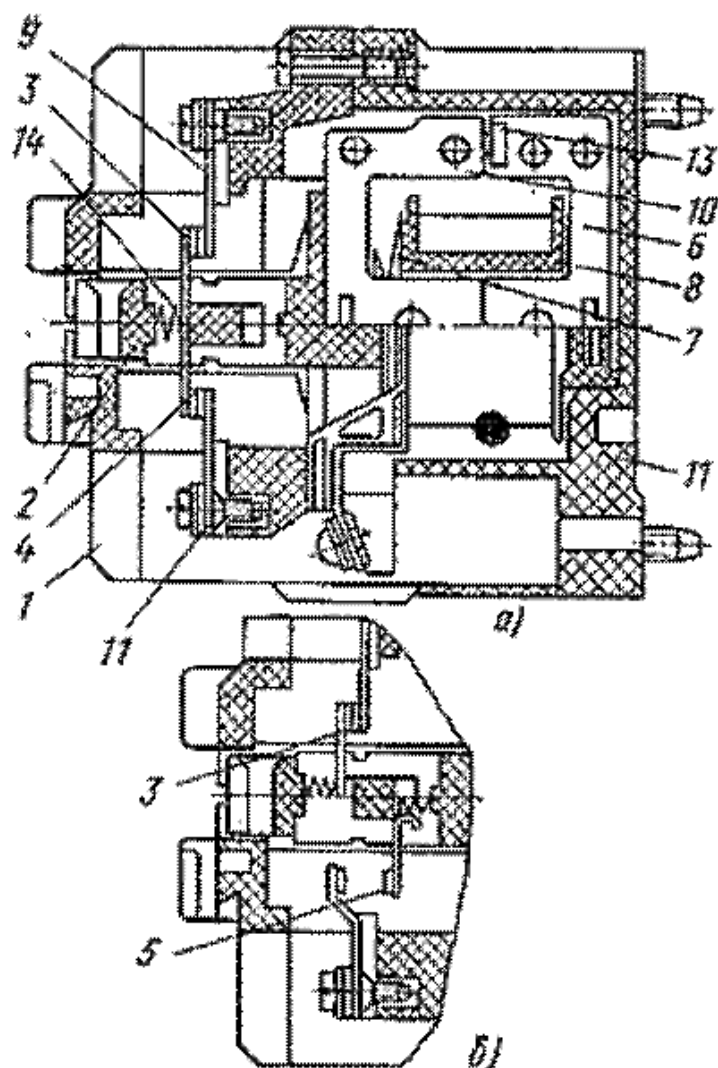
2. Изучить схемы включения нереверсивного и реверсивного магнитных пускателей.
3. Получить практические навыки монтажа схем управления трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью магнитных пускателей.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Тема лабораторно-практической работы.
2. Цель лабораторно-практической работы.
3. Ответы на вопросы практического задания.

Задание для отчета:

1. Расшифруйте магнитный пускатель ПМЛ-1631О4А.
2. Что может входить в комплект пускателя ПМЛ?
3. Расшифруйте приставку ПКЛ11О4.
4. Как устроен магнитный пускатель ПМЛ?



5. Как устроен магнитный пускатель ПМЕ?
6. Из каких частей состоит реверсивный магнитный пускатель с тепловым реле?
7. Какие меры предусмотрены в схемах для защиты от аварийных режимов?
8. Для чего предназначен реверсивный магнитный пускатель?
9. Каким способом изменяется направление вращения электродвигателя?
10. Для чего в конструкции реверсивного пускателя серии ПМЛ предусмотрена механическая блокировка?
11. Выберите магнитные пускатели серий ПМЛ и ПМЕ для реверсивного пуска электродвигателя (табл. 9.1), указанного преподавателем.

Ответы на задание для обучающихся

1. Расшифруйте магнитный пускатель ПМЛ-1631О4А.

ПМЛ – серия;

1 – величина пускателя по номинальному току (10 А);

6 – исполнение по назначению и наличию теплового реле (реверсивный пускатель с тепловым реле с электрической и механической блокировками)

3 – исполнение пускателей по степени защиты и наличию кнопок (IP54 – защита от пыли и брызг) – IP54 с кнопками "Пуск" и "Стоп", сигнальной лампой;

1 – число контактов вспомогательной цепи (р – размыкающий): 1р (на 10...25 А), переменный ток;

0 – сейсмостойкое исполнение пускателей;

4 – категория размещения (4 – в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями) по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70;

А – исполнение по износостойкости (А – более 400 циклов в сутки)

2. Что может входить в комплект пускателя ПМЛ?

В комплект пускателя могут входить: реле промежуточное серии РПЛ, приставка контактная серии ПКЛ, пневматическая приставка выдержки времени серии ПВЛ и приставка памяти серии ППЛ, которые применяют в схемах управления при напряжениях до 660 В переменного и 440 В постоянного тока.

3. Расшифруйте приставку ПКЛ11О4.

Приставки контактные ПКЛ и пневматические ПВЛ предназначены для установки на реле РПЛ, а также на контакторах серии ПМЛ 1...4 величины; приставки памяти ППЛ – только для установки на реле РПЛ.

Приставка контактная ПКЛ-Х₁Х₂О4 действует от контактора. Это блок, состоящий из дугогасительной системы, неподвижных контактов и траверсы с подвижными контактами. Поставляют для пускателей открытого исполнения на токи 10...63 А.

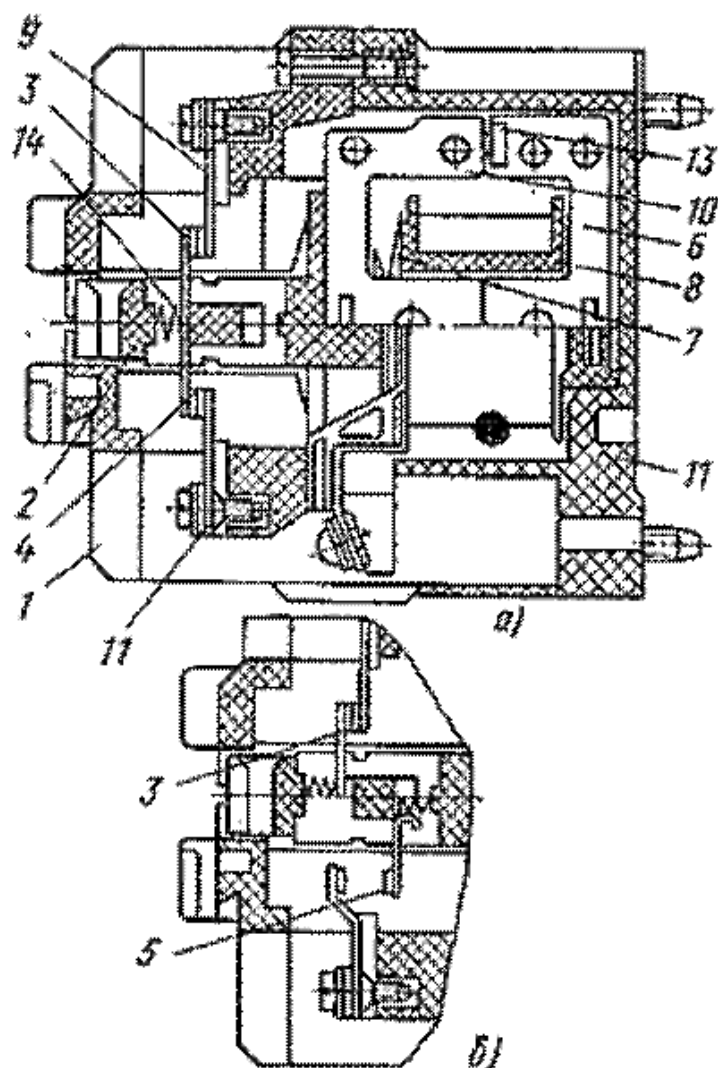
Структура условного обозначения ПКЛ-Х₁Х₂О4:

1 – число замыкающих контактов;

1 – число размыкающих контактов;

О4 – климатическое исполнение и категория размещения.

4. Как устроен магнитный пускатель ПМЛ?



Пускатели электромагнитные серии ПМЛ на номинальный ток 10 А имеют мостиковую контактную систему (позиции 3, 9, 11) с металлокерамическими контактами 4, расположенными в дугогасительном устройстве (ДУ) 1. Электромагнит 10 расположен на неподвижной части Ш-образного магнитопровода 6 и воздействует на якорь (подвижную часть магнитопровода). Контактное нажатие создается пружиной 14, упирающейся в траверсу 2. Возвратная пружина 7 расположена внутри электромагнита. На его среднем стержне размещена катушка 8. При подаче напряжения на катушку по ней протекает ток, создается магнитодвижущая сила, и на якорь действует сила тяги, которая зависит от величины зазора между неподвижной и подвижной частями магнитопровода. Изменение силы во времени отрицательно сказывается на

работе электромагнита: подвижная часть магнитопровода непрерывно вибрирует, нарушая работу контактов. Для устранения вибраций используется короткозамкнутый виток 13, расположенный на неподвижной части магнитопровода 6. В этом витке под действием первичного магнитного потока индуцируется ток витка, который изменяет общий поток части сердечника, охваченной витком, несколько сдвигая его во времени по отношению к основному потоку магнитопровода. Суммарный поток сглаживается, благодаря чему вибрации уменьшаются.

При $I_{ном} > 10$ А ДУ выполняется в виде дугогасительной решетки на каждом разрыве. В системе вспомогательных контактов можно установить до четырех дополнительных контактов 5 (рис. 9.1, б). Детали пускателя прикреплены на основании 11. В корпусе пускателя устанавливается тепловое трехфазное реле типа РТЛ, позволяющее регулировать ток срабатывания.

5. Как устроен магнитный пускатель ПМЕ?

Основные элементы магнитного пускателя ПМЕ (рис. 2) – электромагнитная система 5 и 6, главные замыкающие контакты 2 и 3, блок-контакты и дугогасительная камера 8 [3, 7]. Электромагнитная система представляет собой разъемный магнитопровод, на среднем корне которого размещена катушка. Для уменьшения нагрева, вызываемого вихревыми токами, магнитопровод набран из отдельных пластин электротехнической стали.

Неподвижную часть магнитопровода 5 называют также сердечником, подвижную часть 6 – якорем. Якорь механически соединен с контактами 2. При включении электрический ток проходит по катушке, создает магнитное поле, которое притягивает якорь к сердечнику 5, и тем самым замыкает контакты 2 и 3 пускателя; при отключении якорь под действием возвратных пружин 7 (а в некоторых магнитных пускателях под действием собственного веса) отходит от сердечника, и контакты размыкаются.

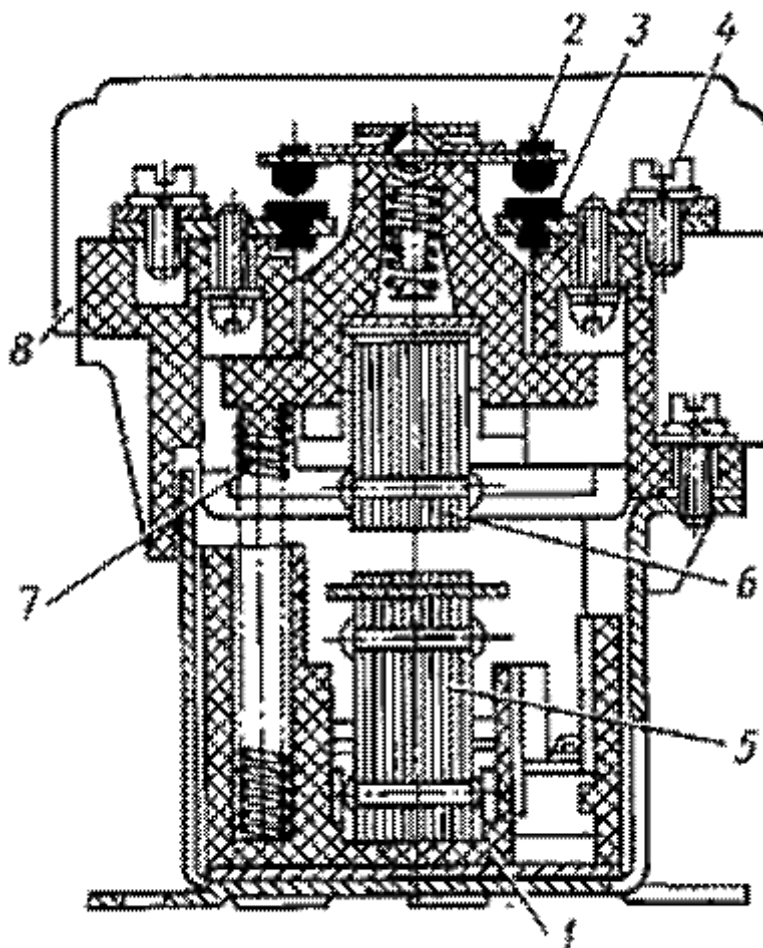


Рис. 2. Магнитный пускатель серии ПМЕ

6. Из каких частей состоит реверсивный магнитный пускатель с тепловым реле?

Реверсивный магнитный пускатель представляет собой комплект состоящий из двух пускателей и теплового реле и имеет каждый электромагнитную систему, контакты (силовые и блокировочные).

7. Какие меры предусмотрены в схемах для защиты от аварийных режимов?

После включения пускателя КМ1, размыкающим контактом КМ1 разрывается цепь катушки пускателя КМ2 и при нажатии кнопки SB3 не произойдет никаких аварийных режимов. Аналогичная электрическая

блокировка есть в цепи катушки КМ1 (размыкающий контакт КМ2). Электрическая блокировка может быть выполнена путем использования размыкающих контактов кнопок "Вперед" и "Назад", которые включают вместо размыкающих контактов КМ1 и КМ2, например при отсутствии размыкающих контактов в конструкции пускателя. Тогда при нажатии кнопки SB2 разрывается цепь питания катушки КМ2 и при нажатии на кнопку SB3 катушка КМ2 останется обесточенной.

Высокий коэффициент возврата электромагнитов контакторов переменного тока позволяет защищать от понижения напряжения сети (электромагнит отпускает при $U = (0,6 - 0,7) U_{ном}$). При восстановлении напряжения сети до номинального значения самопроизвольное включение пускателя не происходит, т.к. замыкающие блок-контакты КМ1 и КМ2 и замыкающие контакты кнопок "Вперед" и "Назад" – разомкнуты.

В схеме предусмотрено зануление – корпус электродвигателя соединен с нейтралью N. В случае пробоя изоляции электродвигателя или кабеля на корпус, в схеме возникнет режим короткого замыкания (через цепь "фаза - корпус - нуль" будет протекать ток короткого замыкания), что приведет к срабатыванию электромагнитного расцепителя автоматического выключателя QF. Автоматический выключатель обесточит схему

8. Для чего предназначен реверсивный магнитный пускатель?

Управление трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью реверсивного магнитного пускателя осуществляется с помощью кнопок "Стоп", "Вперед" и "Назад" – SB1, SB2 и SB3 соответственно по схеме.

9. Каким способом изменяется направление вращения электродвигателя?

Изменение направления вращения ротора электродвигателя (реверс двигателя) осуществляется при нажатии кнопки "Назад" SB3. При этом

электрический ток проходит по катушке КМ2, замыкаются главные и вспомогательные контакты пускателя КМ2, шунтирующие замыкающие контакты кнопки SB3. Напряжение подается на обмотки электродвигателя М (светится лампа HL4), но при этом меняется направление вращения магнитного поля (фаза "А" подается на клемму "3", а фаза "С" – на клемму "1" электродвигателя, т.е. меняется последовательность фаз).

10. Для чего в конструкции реверсивного пускателя серии ПМЛ предусмотрена механическая блокировка?

Для предотвращения короткого замыкания между фазами "А" и "С", при одновременном замыкании главных замыкающих контактов пускателей КМ1 и КМ2, в конструкции реверсивного пускателя серии ПМЛ предусмотрена механическая блокировка: при наличии напряжения на катушке первого контактора его якорь притягивается и с помощью рычага удерживает якорь другого контактора в крайнем положении. Благодаря этому появление напряжения на катушке второго контактора не приводит к его срабатыванию.

Лабораторная работа

Тема: Параллельная работа трансформаторов

Цель работы: ознакомление с условиями включения силовых трансформаторов на параллельную работу.

Общие сведения

При параллельной работе трансформаторов выводы обмоток одноименных фаз соединяет между собой как на первичной, так и на вторичной стороне. Если у трансформаторов соединяется выводы только одной стороны напряжения, то при этом получается их совместная, но не параллельная работа. Нормальная параллельная работа трансформаторов характеризуется отсутствием между ними уравнивающих токов, токи нагрузки трансформаторов одинаковы. В случае разных коэффициентов трансформации между трансформаторами возникает уравнивающий ток, который дополнительно нагружает один трансформатор и разгружает другой. При разных $e_k\%$ нагрузка на трансформаторах распределяется обратно пропорционально величинам $e_k\%$, таким образом, общая нагрузка распределяется между параллельно работающими трансформаторами прямо пропорционально их номинальной мощности и обратно пропорционально их напряжениям короткого замыкания ($e_k\%$).

Для параллельной работы должны быть соблюдены следующие условия:

1. Коэффициенты трансформации трансформаторов должны быть равны, т.е. линейные первичные и вторичные напряжения трансформаторов должны быть соответственно равны.
2. Напряжения короткого замыкания трансформаторов ($e_k\%$) должны быть равны.
3. Трансформаторы должны иметь одинаковые группы соединений, т.е. угловые смещения векторов линейных ЭДС обмоток параллельно включенных трансформаторов должны быть одинаковы.

Трансформаторы с различными группами соединений на параллельную работу включаться не могут, так как в этом случае возникает уравнивающий ток, в 3-20 раз превышающий номинальный ток. Такой уравнивающий ток равноценен току короткого замыкания на выводах трансформатора. Параллельная работа таких трансформаторов невозможно. Перед включением трансформаторов должны быть сфазированы.

Таблица 1

Группы соединений

Напряжение между фазами,

Номера вариантов	трансформаторов		В	
	1-й трансформатор	2-й трансформатор	U_{A1-A2}	U_{C1-C2}
1	- 12	- 12		
2	- 12	- 6		
3	- 11	- 11		
4	- 11	- 5		
5	- 11	- 12		

Векторные диаграммы трансформаторов:

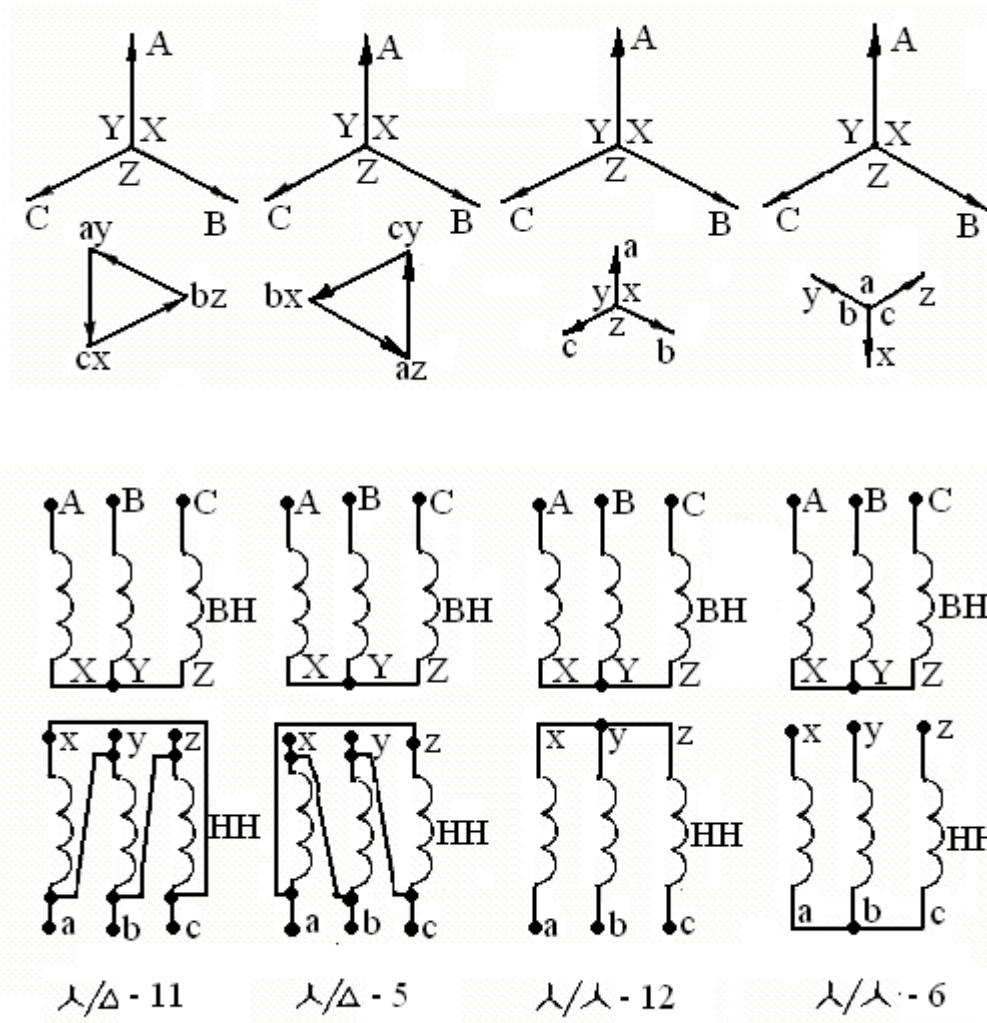


Рис. 1. Схемы соединений трансформаторов.

Программа работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями по включению силовых трансформаторов на параллельную работу.
2. Собрать схему соединений и включить трансформаторы.
3. Замерить напряжение на вторичной стороне трансформаторов между соответствующими фазами.
4. Построить векторные диаграммы трансформаторов.

Порядок проведения работы

1. Собрать схему соединений трансформаторов для следующих пяти вариантов (см. таблицу I).
2. Для каждого варианта замерить напряжение на вторичной стороне трансформаторов между соответствующими фазами и построить векторные диаграммы. Данные замеров внести в таблицу I.

Снятие векторных диаграмм произвести с помощью вольтамперфазометра типа ВАФ – 85.

Контрольные вопросы

1. Условия включения силовых трансформаторов на параллельную работу.
2. Как распределяется нагрузка между трансформаторами в случаях, когда:
 - а) мощности трансформаторов не равны;
 - б) не равны $e_k\%$ трансформаторов.
3. Что произойдет, если включить на параллельную работу трансформаторы с разной группой соединений?

Лабораторно-практическая работа

Тема: ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ

Цель работы: изучение принципов построения и работы схемы центральной сигнализации на электрических станциях и подстанциях.

Общие сведения

Дистанционное управление и контроль предполагают наличие различной сигнализации. Эта сигнализация позволяет дежурному, который находится на щите управления и не видит обслуживаемые объекты, легко ориентироваться в изменениях режима их работы и быстро принимать нужные меры.

В зависимости от назначения различают следующие виды сигнализации:

1. Сигнализация положения - указывает персоналу положение выключателей и других аппаратов, контролируемых со щита управления. Сигнализация положения выключателей выполняется при помощи сигнальных ламп, которые встраиваются в мнемоническую схему;
2. Аварийная сигнализация - извещает персонал об аварийном отключении выключателя от релейной защиты. Принцип действия аварийной сигнализации основан на несоответствии между положением выключателя и положением его ключа управления (КУ). Для аварийной сигнализации на щите управления предусматривается один общий звуковой сигнал (сирена), привлекающий внимание персонала, и индивидуальные световые сигналы (мигающий свет сигнальных ламп положения выключателя), указывающий, какой именно выключатель автоматически отключился;
3. Предупреждающая сигнализация - извещает персонал о возникновении ненормального нежима работы контролируемых объектов и частей электроустановки (перегрузка генераторов и трансформаторов, опасное повышение температуры масла трансформаторов, замыкание на землю в сети с изолированной нейтрально и т.д.) или о ненормальном состоянии

вторичных цепей (нарушение нормальной изоляции или целостности цепей, исчезновение или понижение напряжения питания и т.д.). Предупреждающая сигнализация приводится в действие от индивидуальных контролирующих элементов - реле, контактных термометров и т.п. При этом появляется звуковой сигнал (звонок) и индивидуальный световой сигнал (загорается табло на щите управления).

Звуковой сигнал аварийной и предупреждающей сигнализации обычно имеют центральный съём (т.е. дежурный сразу снимает звуковой сигнал нажатием специальной кнопки, расположенной на центральной панели). Индивидуальный световой сигнал аварийной сигнализации (т.е. мигание сигнальных ламп положения выключателя) прекращается переводом КУ в положение "отключено" (эта операция называется квитированием сигнала). Индивидуальный световой сигнал, предупреждающей сигнализации (световое табло) горят до устранения ненормального режима.

Кроме перечисленных трех видов сигнализации, имеются еще следующие:

4. Напоминающая сигнализация - напоминает персоналу о необходимости ознакомиться с тем, какие указательные реле защиты и автоматики сработали при данном ненормальном или аварийном режиме. Для этого на щите управления загорается табло "блинкер не поднят»;

5. Командная сигнализация - связывает щит управления с ответственными рабочими местами и позволяет дежурному щита быстро передать наиболее важные распоряжения и получить извещение об их выполнении;

6. Сигнализации вызова — приглашает персонал в помещения вспомогательных цехов, работающих без постоянного дежурного персонала, где произошло нарушение нормального состояния устройств.

Работа схемы центральной сигнализации

В схеме центральной сигнализации данной лабораторной работы аварийная и предупреждающая сигнализации имеют общий звуковой сигнал (звонок). Схема выполнена с повторностью действия, т.е. если после снятия звукового сигнала сразу же возникает еще один ненормальный режим или аварийно отключается еще один выключатель, то снова появляется звуковой сигнал.

I. Схема образования шинок сигнализации и контроль исправности цепей

Питание центральной сигнализации осуществляется двумя кабелями ЦС-1 и ЦС-2 от щита постоянного тока (ЩПТ). ЦС-1 является рабочим кабелем, ЦС-2 - резервным. Поэтому рубильник 1Р постоянно включен, а рубильник 2Р - включается только на период отсутствия напряжения в кабеле ЦС-1. Контроль наличия напряжения в схеме центральной сигнализации осуществляется с помощью реле напряжения РК и 1РК. Эта сигнализация запитывается через контакты реле 1РК от обоих кабелей. Причем катушка 1РК запитана от кабеля ЦС-1 и питание сигнализации осуществляется через его нормально разомкнутые контакты этим же напряжением. При исчезновении напряжения на центральной сигнализации, реле РК замыкает свои нормально замкнутые контакты и включает звуковую (звонок ЗВ) и световую (световое табло СТ) сигнализацию через нормально замкнутые контакты 1РК на напряжение кабеля ЦС-2. Таким образом, осуществляется оповещение дежурного на щите об отсутствии напряжения на центральной сигнализации.

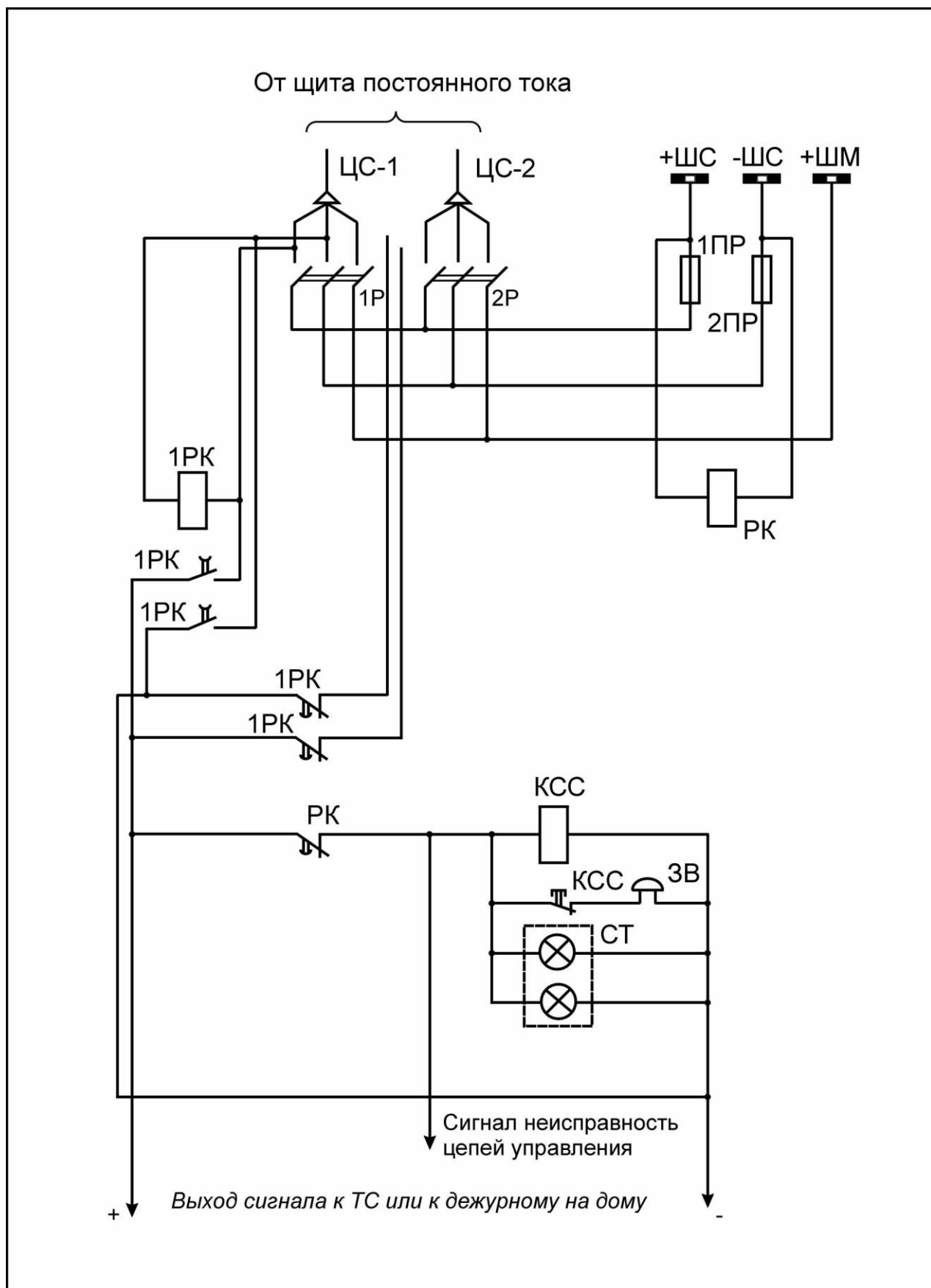


Рис. 1 Схема образования шинок сигнализации и контроль исправности

цепей

Дежурный выясняет причину отсутствия напряжения и либо заменяет предохранители 1ПР, 2ПР, либо отключает рубильник 1Р и включает рубильник 2Р (если произошла потеря напряжения по причине повреждения кабеля ЦС-1).

На некоторых подстанциях дежурство осуществляется на дому. Для этого, чтобы вывести местную сигнализацию (на щите) переключают ключ ПС (переключатель сигнализации, в данной схеме он не показан) при уходе дежурного на дом.

Питание центральной сигнализации осуществляется со щита постоянного тока трехжильным кабелем. По двум жилам приходят «+» и «-» питающего напряжения на шинки ШС, по третьей жиле приходит напряжение от устройства мигающего света.

Шинки сигнализации +ШС и –ШС образуется после рубильников и предохранителей 1ПР и 2ПР. Предохранители шинки мигающего света (ШМ) расположены на щите постоянного тока, а шинки сигнализации (ШС) на щите центральной сигнализации.

2. Схема образования центрального сигнала

Центральная сигнализация электрических станции и подстанции выполняется с повторностью действия, т.е. должна позволять осуществлять прием многих сигналов подряд. Для этого в схеме центральной сигнализации применяется специальное реле импульсной сигнализации РИС. Реле РИС состоит из: импульсивного трансформатора ТР, двух транзисторов Т-1 и Т-2 и поляризованного сигнального реле РС, а также делителя напряжения выполненного на резисторах. Делитель напряжения необходим для питания транзисторов напряжением 10 В, в то время как напряжения сигнализации составляет 220 В (или 110 В).

Трансформатор ТР состоит из одной первичной обмотки и двух вторичных. Первичная обмотка включается к шинке звуковой сигнализации (ШЗС). ШЗС собирает все сигналы, получаемые с контролируемых объектов. Таким образом, через первичную обмотку ТР проходит суммарный ток сигналов.

Рассмотрим работу схемы при аварийном отключении выключателя, т.е. отключении его релейной защитой. При этом возникает цепь несоответствия: реле фиксации включенного положения выключателя РФ оставляет контакты замкнутыми, а реле положения отключено РПО также замыкает контакты.

Образуется следующая цепь: (+ШС) – РПО - РФ - 1С – ШЭС - первичная обмотка ТР – (-ШС).

Первичная обмотка ТР имеет малое сопротивление, поэтому ток в цепи определяется величиной сопротивления 1С и составляет около 100,0 мА.

При замыкании цепи несоответствия в первичной обмотке ТР происходит изменение тока от I_1 до I_2 ($I_2 - I_1 = 100 \text{ мА}$). Изменение тока в первичной обмотке ТР вызывает изменение магнитного потока в его сердечнике и кратковременное (импульсное) наведение ЭДС во вторичной обмотке ТР. Причем это напряжение минусом прикладывается к базе транзистора Т-2. Транзистор Т-2 открывается, ток через него увеличивается и записывает правую обмотку поляризованного реле РС. При этом РС срабатывает и замыкает свой контакт, затем срабатывает выходное реле 1РП.

1РП контактами 7-8 образует цепь питания реле 2 РП. 2 РП контактами 9-10 записывает ревун РЕВ (который осуществляет звуковой сигнал) и реле ограничения длительности сигнала РВ. С помощью контакта 7-8 2РП встает на самоудержание через кнопку центрального съема сигнала КЦС.

Одновременно 1РП контактами 9-10 и 2РП контактами 5-6 создает цепь возврата реле РС, запитав его левую обмотку. Его контакт размыкается и 1РП возвращается в исходное состояние.

Звуковой сигнал снимается либо вручную, нажатием на кнопку КЦС, либо автоматически, при замыкании контактов реле ограничения длительности сигнала РВ. Последнее имеет выдержку времени 6-8 сек., и если за это время сигнал не снят дежурным вручную, то контакт 3-5 реле РВ шунтирует катушку 2РП. 2РП при этом теряет питание размыкает все свои контакты, обеспечивая отключения ревуна РЕВ, возврат реле РВ и самого себя.

Звуковой сигнал снимается также при квитировании ключа управления. При этом контактами РФ размыкается цепь несоответствия и во вторичную обмотку ТР трансформируется импульс обратной полярности, который открывает транзистор Т-1, что вызывает возврат реле РС в исходное положение.

Реле РИС обеспечивает возможность подачи повторного сигнала, если до квитирования ключа управления первого включателя также аварийно отключается второй и т.д. Новая цепь несоответствия подключается параллельно первой, что приводит к возрастанию тока в обмотке Тр. Импульс переходного процесса трансформируется во вторичную обмотку, обуславливая новый запуск реле РС, и т.д.

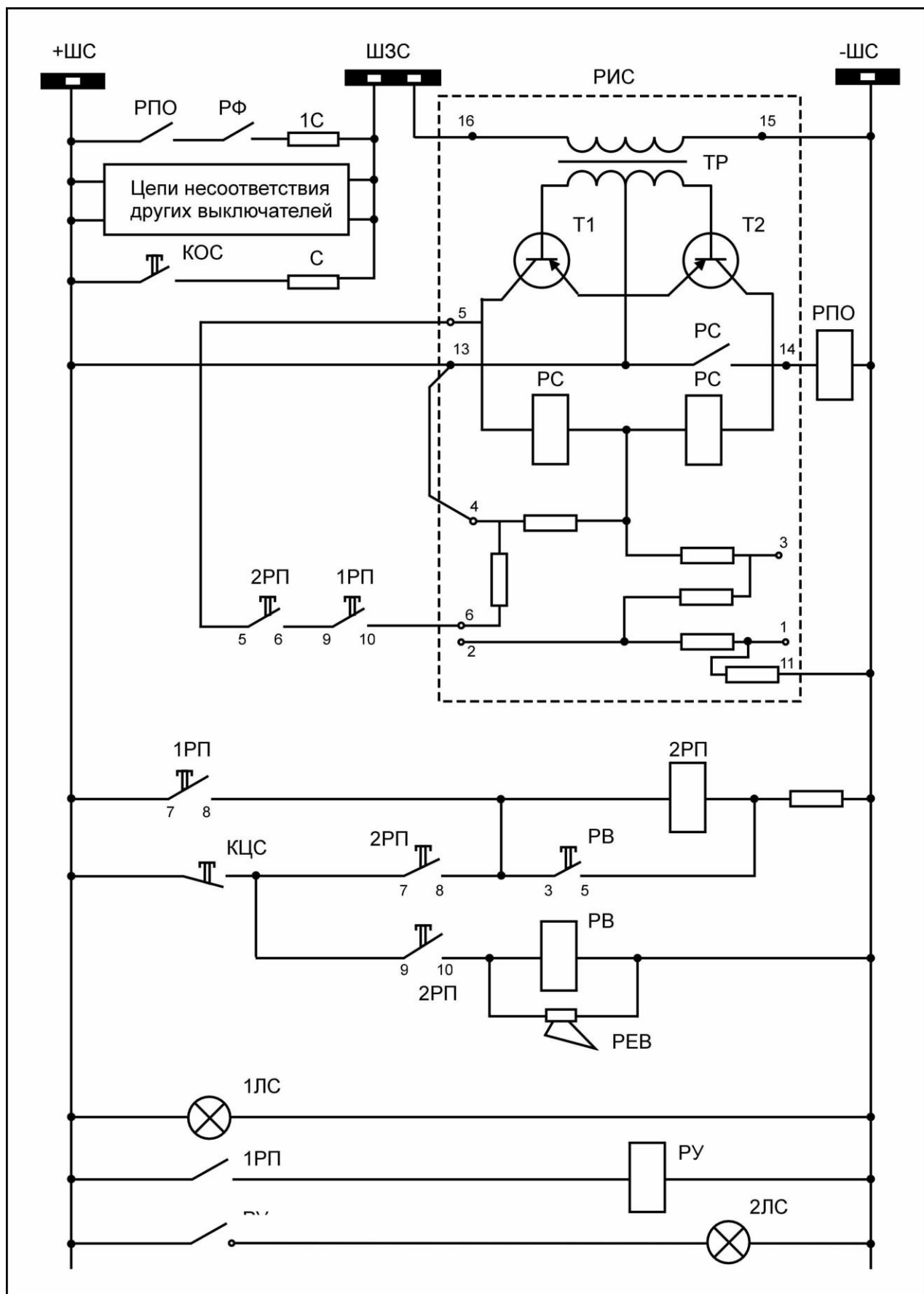


Рис.2 Схема образования центрального сигнала

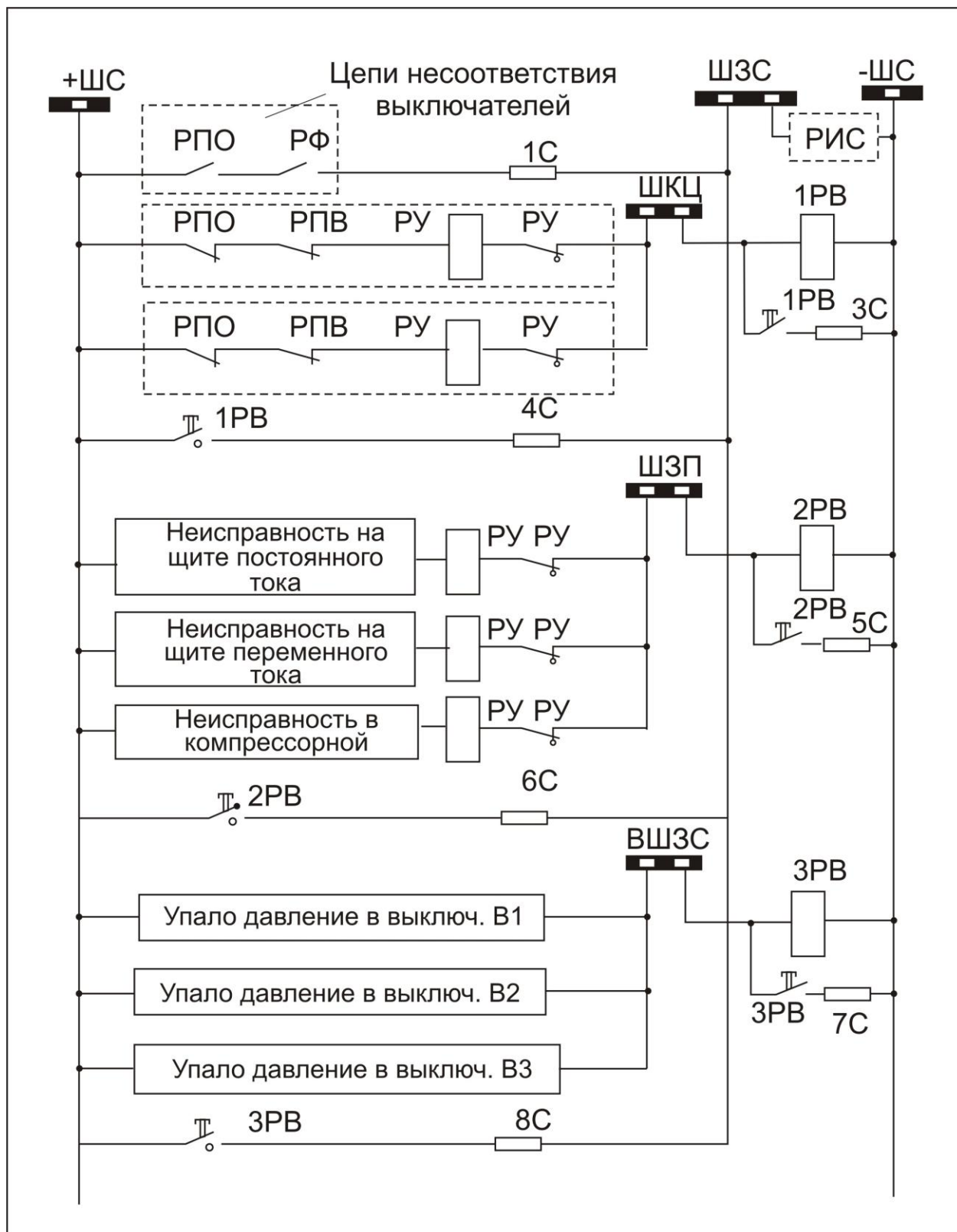


Рис.3 Схема сбора сигналов

Первичная обмотка ТР рассчитана на ток до 3 А, поэтому количество принятых сигналов может достигать 30.

Для опробования звуковой сигнализации параллельно цепям несоответствия подключена кнопка опробования сигнала КОС (последовательно с сопротивлением).

Световая сигнализация осуществляется с помощью лампы 2ЛС, запитанной через контакты реле РУ.

3. Схема сбора сигналов

Кроме основной шинки звуковой сигнализации ШЗС, которая передает сигнал в случае прихода аварийного сигнала (через цепи несоответствия выключателей) имеется ещё ряд шинок, которые передают сигнал с задержкой. Если сигнал кратковременный, то на центральную сигнализацию он не проходит. К таким сигналам можно отнести временное понижение давления в воздушных включателях, кратковременные повреждения на щитах постоянного и переменного тока, в компрессорной и т.д.

Кроме того, эти шинки позволяют собирать сигналы, а на центральную сигнализацию подавать кратковременный сигнал только при появлении неисправности.

Рассмотрим конкретно назначение каждой вспомогательной шинки.

ШКЦ – шинка контроля цепей. Контролирует целостность цепей включения и отключения в схемах управления выключателями, а также наличие там оперативного напряжения. Работает следующим образом: при появлении неисправности одновременно теряют питание реле РПО и РПВ, при этом их нормальнозамкнутые контакты создают цепь через блинкер РУ и шинку ШКЦ.

От ШКЦ питается реле времени 1РВ. Реле запускается и своим проскальзывающим контактом создает кратковременный импульс на шинку ШЗС, которая через РИС выдает центральный сигнал, а реле времени 1РВ своим упорным контактом создает цепь через сопротивление ЗС параллельно катушке 1РВ. Ток в цепи блинкера РУ увеличивается и РУ срабатывает, после чего нормально замкнутый контакт блинкера разрывает эту цепь. Схема готова к приему следующего сигнала.

Таким образом, при появлении неисправностей прозвучит центральный сигнал, а по блинкеру РУ дежурный находит конкретную неисправность. Аналогичным образом работают и другие вспомогательные шинки

центральной сигнализации.

Программа работы

1. Изучить схему центральной сигнализации.
2. Проверить работу сигнализации при потере напряжения питания на шинках сигнализации.
3. Опробовать работу звуковой сигнализации кнопкой КОС.
4. Определить ток срабатывания реле импульсной сигнализации РИС.
5. Опробовать действие аварийной и предупредительной сигнализации.

Содержание отчета:

1. Тема лабораторно-практической работы.
2. Цель работы.
3. В отчете привести принципиальную схему центральной сигнализации и краткое описание ее работы.
4. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие виды сигнализации различают в зависимости от назначения?
2. Каким образом контролируется наличие напряжения в схеме центральной сигнализации?
3. Как устроено реле импульсной сигнализации РИС?
4. Каким образом выполняется повторность действия центральной сигнализации?
5. Как осуществляется автоматический съём звукового сигнала в схеме?

Лабораторно-практическая работа

тема: ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Цель работы: изучение различных режимов работы синхронного генератора.

Общие сведения

Управление режимом генератора сводится к поддержанию необходимого магнитного поля в воздушном зазоре между статором и ротором. Ток статора создает магнитное поле, направленное в основном встречно магнитному полю, создаваемому током возбуждения (эффект реакции якоря). Изменение результирующего магнитного поля компенсируется соответствующими изменениями магнитного поля возбуждения, для чего ток возбуждения генератора должен изменяться в широких пределах в зависимости от его режима.

Ток возбуждения в нормальных режимах зависит от требуемого напряжения генератора U , активного I_a и реактивного I_r токов статора и своим изменением должен компенсировать как падение напряжения в синхронной машине, так и реакцию статора.

Существует два режима генератора: перевозбуждение и недовозбуждение. В режиме перевозбуждения в сеть поступают активная и реактивная мощности. В режиме недовозбуждения генератор потребляет реактивную мощность.

Реактивная мощность, генерируемая или потребляемая синхронным генератором, работающий в режиме компенсатора, зависит от тока возбуждения. С изменением тока возбуждения изменяется ЭДС обмотки статора E_k . Режим, когда ЭДС генератора по значению равна напряжению сети, называют режимом холостого хода генератора. При увеличении тока возбуждения ЭДС генератора превысит напряжение на его зажимах (режим перевозбуждения).

Синхронные гидрогенераторы и турбогенераторы могут работать в режиме синхронного компенсатора.

Асинхронный режим. В нормальном режиме генераторы, включенные на параллельную работу, работают синхронно. Синхронный режим характеризуется тем, что ЭДС всех генераторов имеют одинаковую частоту,

и, следовательно, их векторы вращаются с одинаковой угловой скоростью. Результатом потери устойчивой работы отдельных генераторов или группы генераторов является асинхронный ход СГ.

Асинхронный ход - это такой режим работы СГ, при котором скорость вращения ротора не соответствует скорости вращения поля статора.

Различают два вида АХ синхронных генераторов:

1. АХ генератора станции, относительно генераторов, работающих на станции;
2. АХ группы генераторов (группы станций) относительно другой группы (системы).

Турбогенератор переходит в асинхронный режим при потере возбуждения или при его уменьшении ниже некоторой критической величины, достаточной для создания синхронного момента.

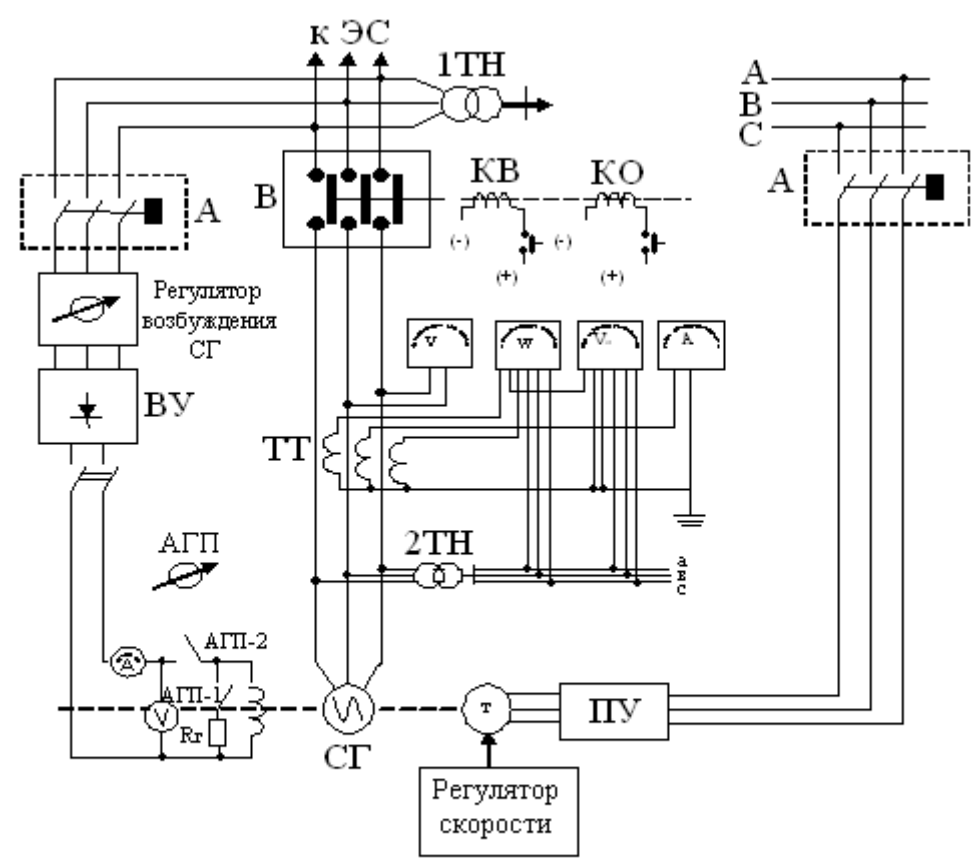
Синхронный электромагнитный момент проявляется как результат взаимодействия вращающегося магнитного потока статора генератора с потоком, обусловленным протеканием в обмотке ротора тока возбуждения. При установившейся синхронной работе генератора этот момент по отношению к вращающемуся моменту турбины является тормозным. При его исчезновении из-за потери возбуждения или при его уменьшении с уменьшением возбуждения ниже вращающего момента, развиваемого турбиной, частота вращения ротора генератора увеличивается и возникает скольжение ротора относительно вращающегося поля статора генератора, включенного в общую сеть с параллельно работающими генераторами. Вследствие этого во всех замкнутых роторных контурах наводятся со стороны статора токи, имеющие частоту скольжения. Эти токи создают тормозящий асинхронный момент, и если его максимум оказывается больше момента, создаваемого турбиной, то ускорение ротора прекратится, и генератор будет отдавать активную мощность в сеть при работе в асинхронном режиме.

Из-за одноосности обмотки возбуждения и неодинаковости магнитной проводимости в продольной и поперечной осях машины асинхронный момент не остается постоянным, а колеблется около среднего значения $M_{асх.ср.}$.

$$M_{асх} = M_d \sin^2 \delta + M_q \cos^2 \delta$$

Здесь δ - угол сдвига продольной оси ротора относительно магнитного потока в зазоре;

M_d и M_q - моменты на валу, соответствующие максимуму тока в продольной и поперечной осях.



Принципиальная электрическая схема стенда

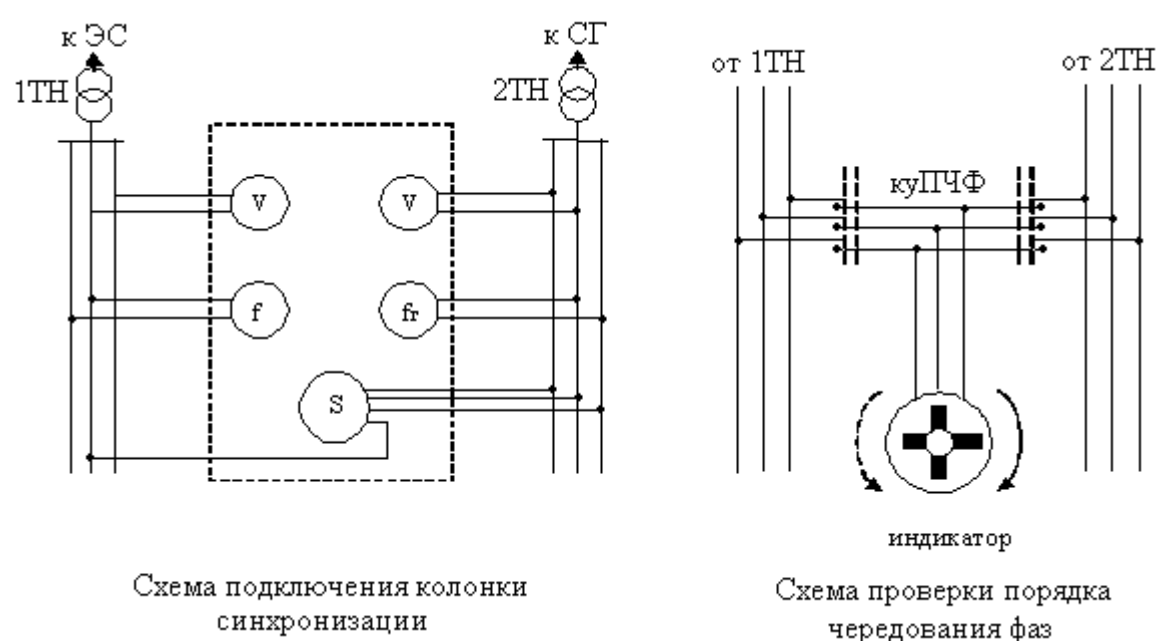


Схема подключения колонки синхронизации

Схема проверки порядка чередования фаз

Программа работы

1. Изучение электрической схемы стенда.
2. Холостой ход генератора.
3. Фазировка генератора с энергосистемой.
4. Включение генератора на параллельную работу ЭС.
5. Система возбуждения генератора.
6. АГП генератора.
7. Регулирование активной мощности генератором.
8. Регулирование реактивной мощности синхронного генератора.
9. Снятие V-образной характеристики синхронного генератора.
10. Асинхронный ход генератора.
11. Режим синхронного компенсатора.
12. Назначение колонки синхронизации синхронного генератора.

Таблица для построения V-образной характеристики синхронного генератора при $U=\text{const}$; $P_{\Gamma}=\text{const}$ (0,5; 1,0; 1,5)

I_{Γ}

$I_{\text{в}}$

Содержание отчета

1. Тема лабораторно-практической работы.
2. Цель лабораторно-практической работы.
3. Электрическая схема стенда, включение генератора в систему, регулирование активной и реактивной мощности генератора, режимы работы генератора, построение V-образной характеристики СГ, работающего в режиме СК.
4. Заполнить таблицу построения характеристики.

Контрольные вопросы

1. Процесс включения синхронного генератора в энергосистему.

2. Назначение АГП синхронного генератора.
3. Как изменить выдачу активной и реактивной мощности генератора в ЭС.
4. Причины возникновения асинхронного хода синхронного генератора.
5. Пуск синхронного компенсатора.
6. Назначение колонки синхронизации.

Лабораторно-практическая работа

Тема: Схемы включения электрооборудования.

Тема 1. Схемы включения люминесцентных ламп

Цель работы: 1) изучить устройство светильника на основе люминесцентной лампы;

2) исследовать основные ее характеристики.

Приборы и инструмент: отвертка, тестер.

Ход работы

В работе исследуются стартерная схема включения лампы. Исследование производится по схеме.

Задание 1: Начертить схемы:

Рисунок 1 – Принципиальная схема включения люминесцентной лампы.

Рисунок 2 – Монтажная схема включения люминесцентной лампы.

Последовательность выполнения включения:

Проверить правильность монтажа при помощи тестера. Подготовить стенд к работе от сети: вывести регулятор ЛАТРа в положение, соответствующее минимальному выходному напряжению, убедиться, что остальные аппараты, неиспользуемые в работе, не попадут под напряжение при включении стенда.

После проверки схемы преподавателем запитать стенд от сети и подать в схему напряжение. Проверить работу схемы. Затем, плавно увеличивая подводимое напряжение с помощью ЛАТРа, определить напряжение

устойчивого включения лампы, а также ток розжига лампы и его величину в рабочем режиме. Эксперимент повторяется несколько раз.

Затем, плавно понижая напряжение, определить величину напряжения гашения лампы. Опыт повторить несколько раз. Затем, вновь плавно понижая напряжение от номинального, снимать значения рабочего тока лампы в режиме свечения в нескольких фиксированных точках.

Контрольные вопросы

1. Каков принцип работы люминесцентной лампы?
2. Каковы преимущества люминесцентных ламп?
3. В каких помещениях применяются люминесцентные лампы?
4. Как выполняется монтаж светильников с люминесцентными лампами?
5. Как подключаются люминесцентные светильники?

Тема 2. Изучение схем включения счетчиков активной энергии

Цель работы: 1) изучить вводно-распределительные устройства, средства учета электрической энергии;

- 2) приобрести практические навыки по монтажу счетчиков активной энергии.

Приборы и инструмент: отвертка, тестер, плоскогубцы.

Ход работы

Подключение однофазных счетчиков электрической энергии выполняю по схемам.

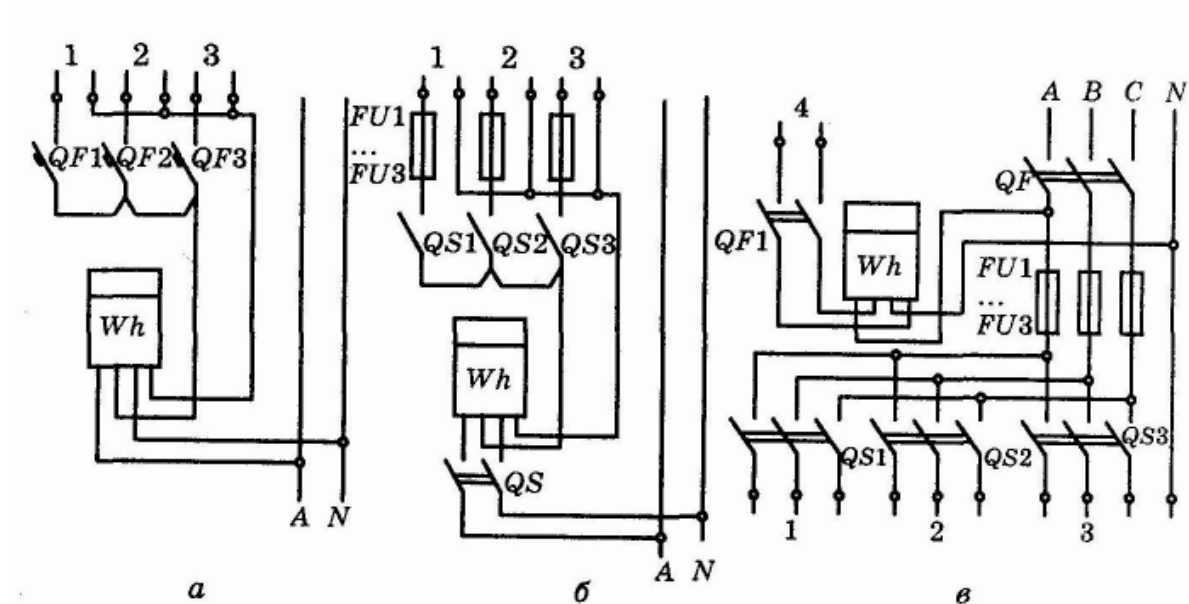


Рисунок - Схемы подключения однофазных счетчиков

Изучить схему подключения однофазных счетчиков.

Записать паспортные данные счетчиков и трансформаторов тока, установленных на стенде.

Собрать электрическую схему подключения однофазного счетчика с аппаратом защиты, установленным перед счетчиком, и без аппарата защиты. Проверить правильность сборки. После проверки преподавателем, подать напряжение на стенд.

Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняют групповые щитки и щитки учета в электрических сетях?
2. Как подключаются 3-х фазные счетчики электрической энергии?
3. Как подключаются однофазные счетчики?
4. Для чего применяют трансформаторы тока?
5. Где устанавливаются счетчики учета электрической энергии?

Тема 3. Изучение схемы нереверсивного пуска двигателя

- Цель работы:** 1) изучить методику проверки электрооборудования для управления работой электродвигателя;
- 2) выработать навыки монтажа электрооборудования по монтажным схемам.

Приборы и инструмент: отвертка, тестер.

Ход работы

Записать паспортные данные асинхронного электродвигателя и ознакомиться с пусковой аппаратурой.

Задание: Для выполнения работы начертить и смонтировать электрическую схему:

Рисунок – Принципиальная схема подключения асинхронного электродвигателя.

Исследования в данной работе производятся на основе асинхронного электродвигателя М1. Для управления работой электродвигателя используются следующие коммутационные аппараты: автоматический выключатель QF 1 - для подключения схемы управления к питающему напряжению и защиты от токов короткого замыкания; магнитный пускатель КМ 1 - для подключения обмотки статора двигателя к питающему напряжению; тепловое реле КА 1 - для защиты двигателя от длительных перегрузок; кнопки кнопочного поста SB1.1 и SB1.2 - для пуска и останова двигателя.

Контроль за током в фазах, фазным напряжением, потребляемой активной мощностью и скоростью вращения вала электродвигателя производится по приборам: А1, V1, W1 и п. Контроль за работой коммутационных аппаратов производится визуально.

Ознакомился с расположением аппаратов на панели стенда. По монтажной схеме (рисунок 5.2) смонтировал схему управления двигателем М 1. После проверки преподавателем произвести проверку работы схемы при поданном напряжении питания. Снять показания амперметра. Тестером измерить все фазные и линейные напряжения. Зафиксировать показания. Сделать заключение о правильности выбора пускорегулирующей аппаратуры и аппаратов защиты. Обосновать выводы.

Рисунок 5.2 – Монтажная схема

Контрольные вопросы

1. Какие аппараты относятся к пускорегулирующей аппаратуре? Перечислите их.
2. В каких режимах проверяют электродвигатель после монтажа?
3. Каково назначение автоматического выключателя QF1 и теплового реле КА1 в схеме (рисунок 5.1)?
4. Как выполняется защита от самозапуска двигателя?
5. Как выполняется шунтирование кнопки «Пуск»

Практическая работа.

Тема: Определение погрешностей при измерении электрических величин.

Обучающийся должен

знать:

- Основные электромеханические измерительные приборы;

уметь:

- Проводить расчет абсолютной, относительной, приведенной погрешностей;

Задача. Измерение мощности нагрузки в цепи постоянного тока выполнено методом с помощью амперметра и вольтметра. При этом были использованы амперметр типа *M342*, имеющий предел измерения (номинальный ток) I_n и класс точности γ_∂ ; вольтметр типа *M717* с пределом измерения (номинальным напряжением) U_n и классом точности γ_∂ .

1.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номер варианта	Наименование параметров					
	амперметра			вольтметра		
	I_n, A	$\gamma_\partial, \%$	I_n, A	U_n, B	$\gamma_\partial, \%$	U_n, B
0	1	1,5	0,5	150	1,5	50
1	3	1,5	2	150	1,5	75
2	5	2,5	4	150	1,5	100
3	10	2,5	8	150	1,5	120
4	1	1,5	0,75	150	1,5	50
5	3	1,5	1,5	250	1,5	75
6	5	2,5	3	250	1,5	100
7	8	2,5	6	250	1,5	150
8	1	1,5	0,6	250	1,5	50
9	3	1,5	1,0	250	1,5	75

Методические указания к решению задачи

Задача. Измерение мощности нагрузки в цепи постоянного тока выполнено методом с помощью амперметра и вольтметра. При этом были использованы амперметр типа *M342*, имеющий предел измерения (номинальный ток) $I_n = 10 A$ и класс точности $\gamma_\partial = 2,5\%$; вольтметр типа *M717* с пределом измерения (номинальным напряжением) $U_n = 250 B$ и классом точности $\gamma_\partial = 1,5\%$.

Показания приборов: амперметра – $I_u = 5 A$, $U_u = 120 B$.

Определить:

1. Абсолютную погрешность приборов ΔI и ΔU ;
2. Относительную погрешность при измерении тока и напряжения δI и δU ;
3. Относительную погрешность при измерении мощности δP .

Решение:

1. Абсолютную погрешность приборов ΔI и ΔU :

$$\Delta I = \pm \frac{\gamma_{\partial} \cdot I_n}{100} = \pm \frac{2,5 \cdot 10}{100} = \pm 0,25 \text{ A}$$

$$\Delta U = \pm \frac{\gamma_{\partial} \cdot U_n}{100} = \pm \frac{1,5 \cdot 250}{100} = \pm 3,75 \text{ B}$$

2. Относительную погрешность при измерении тока δI :

$$\delta I = \frac{\Delta I}{I_u} \cdot 100\% = \pm \frac{0,25}{5} \cdot 100 = \pm 5\% \quad \text{или}$$

$$\delta I = \gamma_{\partial} \cdot \frac{I_n}{I_u} = \pm 2,5 \cdot \frac{10}{5} = \pm 5\%.$$

Относительную погрешность при измерении напряжения δU :

$$\delta U = \frac{\Delta U}{U_u} \cdot 100\% = \pm \frac{3,75}{120} \cdot 100 = \pm 3,125\% \quad \text{или}$$

$$\delta U = \gamma_{\partial} \cdot \frac{U_n}{U_u} = \pm 1,5 \cdot \frac{250}{120} = \pm 3,125\%.$$

3. Относительную погрешность при измерении мощности δP косвенным методом:

$$\delta P = (\delta U \cdot I + \delta I \cdot I) = \pm(5 + 3,125) = \pm 8,125\% .$$

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Выполнить расчет погрешностей по предложенному варианту.

Практическая работа

**Тема: Расчет измерительных преобразователей электрических
величин в электрические**

Обучающийся должен

знать:

- назначение шунта, добавочного сопротивления, измерительных трансформаторов тока и напряжения;
 - схемы включения шунта, добавочного сопротивления;
- уметь:

- рассчитывать сопротивление шунта, добавочного резистора для расширения пределов измерения измерителя;
- рассчитывать параметры измерительных трансформаторов тока, напряжения.

Задача 1. Измеритель, сопротивления которого $r_{\text{и}}$ имеет шкалу с N делениями, постоянную C .

Определить:

2. Сопротивление шунта $r_{\text{ш}}$, с помощью которого можно было измерить измерителем силу тока I .
3. Величину добавочного сопротивления $r_{\text{д}}$, с помощью которого этим измерителем можно было измерить величину напряжения U .
4. Силу токов, проходящих через измеритель и через шунт.
5. Падения напряжения на измерителе и на добавочном сопротивлении.
6. Приведите схемы включения с шунтом и с добавочным сопротивлением.

Таблица. Исходных данных к задаче 1

Номер варианта	Наименование параметров				
	$r, \text{Ом}$	$N, \text{дел}$	$C, \text{А/дел}$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$
0	0,01	100	0,01	10	5

1	0,02	100	0,02	1	6
2	0,03	100	0,03	2	7
3	0,04	100	0,04	3	8
4	0,05	100	0,05	4	9
5	0,06	100	0,06	5	10
6	0,07	100	0,07	6	1
7	0,08	100	0,08	10	4
8	0,09	100	0,09	8	3
9	0,1	100	0,1	9	4

Задача 2. В сеть однофазного переменного тока через трансформатор тока с коэффициентом трансформации K_i и трансформатор напряжения с коэффициентом трансформации включены приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр, фазометр. Начертите схему цепи и определите: 1) ток в первичной обмотке трансформатора тока I_1 ; 2) напряжение на потребителе U_1 ; 3) полную мощность, потребляемую потребителем, S_1 ; 4) активную мощность потребителя P_1 .

Таблица. Исходных данных к задаче 2

Номер варианта	Наименование параметров				
	K_i	K_u	$U_2, В$	$P_2, Вт$	$\cos\varphi_2$
0	10/5	3000/100	125	360	0,8
1	20/5	6000/100	90	230	0,85
2	30/5	10000/100	80	370	0,925
3	40/5	35000/100	95	338	0,75
4	50/5	3000 /100	70	190	0,9
5	75/5	6000/100	80	275	0,8
6	100/5	10000/100	100	450	0,9
7	150/5	35000/100	95	250	0,92
8	200/5	3000/100	90	254	0,6
9	300/5	6000/100	96	384	0,8

Методические указания к решению задач

Задача 1. Измеритель, сопротивления которого $r_{\text{и}} = 0,08$ имеет шкалу с $N = 100$ делениями, постоянную $C = 0,08$.

Определить:

1. Сопротивление шунта $r_{\text{ш}}$, с помощью которого можно было измерить измерителем силу тока $I = 7$ А.
2. Величину добавочного сопротивления $r_{\text{д}}$, с помощью которого этим измерителем можно было измерить величину напряжения $U = 2$ В.
3. Силу токов, проходящих через измеритель и через шунт.
4. Падения напряжения на измерителе и на добавочном сопротивлении.
5. Приведите схемы включения с шунтом и с добавочным сопротивлением.

Решение:

Схема включения измерителя с шунтом:

1. Номинальная сила тока измерителя:

$$I_{\text{и}} = C \cdot N = 0,08 \cdot 100 = 8 \text{ А.}$$

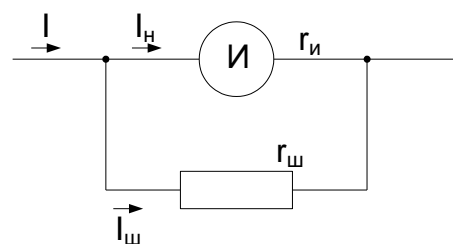
2. Сила тока, протекающая через шунт:

$$I_{\text{ш}} = I - I_{\text{и}} = 7 - 8 = -1 \text{ А.}$$

3. Сопротивление шунта:

$$r_{\text{ш}} = \frac{r_{\text{и}}}{n-1} = \frac{0,08}{0,875-1} = -0,64$$

$$n = \frac{I}{I_{\text{и}}} = \frac{7}{8} = 0,875.$$



В данном случае шунт не требуется

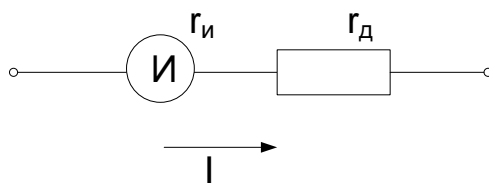
4. Падение напряжения на шунте: $U_{\text{ш}} = I_{\text{ш}} \cdot r_{\text{ш}} = I_{\text{и}} \cdot r_{\text{и}} = 8 \cdot 0,08 = 0,64 \text{ В.}$

5. Множитель добавочного резистора: $m = \frac{U}{U_{\text{и}}} = \frac{2}{0,64} = 3,125.$

6. Величина сопротивления добавочного резистора:

$$r_{\text{д}} = r_{\text{и}}(m-1) = 0,08(3,12-1) = 0,17 \text{ Ом.}$$

7. Схема включения измерителя с добавочным резистором:



Задача 2. В сеть однофазного переменного тока через трансформатор тока с коэффициентом трансформации $K_i = 150/5$ и трансформатор напряжения с коэффициентом трансформации включены приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр, фазометр. Начертите схему цепи и определите: 1) ток в первичной обмотке трансформатора тока I_1 ; 2) напряжение на потребителе U_1 ; 3) полную мощность, потребляемую потребителем, S_1 ; 4) активную мощность потребителя P_1 .

Дано:

$$K_i = 150/5; K_u = 35000/100; U_2 = 93 \text{ В}; P_2 = 300 \text{ Вт}; \cos\varphi_2 = 0,92.$$

Решение:

1. Показания амперметра: $I_2 = \frac{P_2}{U_2 \cdot \cos\varphi_2} = \frac{300}{93 \cdot 0,92} = 3,5 \text{ А}.$

2. Ток в первичной обмотке трансформатора тока:

$$I_1 = K_i \cdot I_2 = \frac{150}{5} \cdot 3,5 = 105 \text{ А}.$$

3. Напряжение на потребителя: $U_1 = K_u \cdot U_2 = \frac{35000}{100} \cdot 93 = 32550 \text{ В}.$

4. Активная мощность потребителя:

$$P_1 = K_i \cdot K_u \cdot P_2 = 30 \cdot 350 \cdot 300 = 3150000 \text{ Вт}.$$

5. Полная мощность вторичной цепи: $S_2 = U_2 \cdot I_2 = 93 \cdot 3,5 = 325,5 \text{ ВА}.$

6. Полная мощность потребителя: $S_1 = S_2 \cdot K_i \cdot K_u = 325,5 \cdot 30 \cdot 350 = 3417750 \text{ ВА}.$

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Выполнить расчет погрешностей по предложенному варианту.

Практическая работа

Тема: Определение параметров электрической цепи переменного тока с помощью измерительных приборов

Обучающийся должен

знать:

- Основные электромеханические измерительные приборы;

уметь:

- Проводить расчет основных электрических величин, составлять схемы;

Задача. Для исследования цепи однофазного переменного тока с катушкой индуктивности включены приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр и фазометр. Начертите схему цепи, определите величины: 1) показания ваттметра P ; 2) активное сопротивление цепи r ; 3) реактивное сопротивление X ; 4) полное сопротивление Z ; 5) полную мощность S ; 6) реактивную мощность Q ; 7) индуктивность катушки L . Частота тока 50 Гц.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номер варианта	Наименование параметров		
	I, А	U, В	$\cos\varphi$
0	5	127	0,75
1	4,09	220	0,77
2	7,07	110	0,625
3	3,5	117	0,6
4	2,54	127	0,2
5	4	220	0,83
6	3	127	0,9
7	2	220	0,8
8	7,87	127	0,8
9	5,75	220	0,75

Методические указания к решению задачи

Задача. Для исследования цепи однофазного переменного тока с катушкой индуктивности включены приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр и фазометр. Начертите схему цепи, определите величины: 1) показания ваттметра P ; 2) активное сопротивление цепи r ; 3) реактивное сопротивление X ; 4) полное сопротивление Z ; 5) полную мощность S ; 6) реактивную мощность Q ; 7) индуктивность катушки L . Частота тока 50 Гц.

Дано:

$$f = 50 \text{ Гц}; I = 3,8 \text{ А}; U = 220 \text{ В}; \cos\varphi = 0,48.$$

Решение:

1. Показания ваттметра: $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 220 \cdot 3,8 \cdot 0,48 = 401 \text{ Вт}$.
2. Полное сопротивление катушки: $Z = \frac{U}{I} = \frac{220}{3,8} = 58 \text{ Ом}$.
3. Активное сопротивление катушки: $r = Z \cdot \cos\varphi = 58 \cdot 0,48 = 28 \text{ Ом}$.
4. Индуктивное сопротивление катушки: $X_L = \sqrt{Z^2 - r^2} = \sqrt{58^2 - 28^2} = 51 \text{ Ом}$.
5. Индуктивность катушки: $L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{51}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,16 \text{ Гн}$.
6. Полная мощность цепи: $S = U \cdot I = 220 \cdot 3,8 = 836 \text{ ВА}$.
7. Реактивная мощность цепи: $Q = S \cdot \sin\varphi = 220 \cdot 3,8 \cdot 0,87 = 727 \text{ ВАр}$.

$$\varphi = \arccos 0,48 = 68^\circ; \quad \sin 68^\circ = 0,87.$$

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Выполнить расчет погрешностей по предложенному варианту.

Практическая работа

Тема: Измерение электрических величин в четырехпроводной трехфазной сети с неравномерной нагрузкой

Обучающийся должен

знать:

- Основные электромеханические измерительные приборы;

уметь:

- Проводить расчет электрических величин, составлять схемы для измерения электрических величин;

Задача. Потребитель с неравномерной активной нагрузкой фаз, соединенной звездой, подключен к трехфазной четырехпроводной сети переменного тока $380/220\text{ В}$, имеющей симметричную систему напряжений. Максимальный рабочий ток каждой из фаз линии может достигать $I_{p\text{ макс}}, \text{ А}$.

Необходимо измерить напряжение каждой фазы U_A, U_B, U_C и одно из линейных напряжений U_L , токи каждой из фаз I_A, I_B, I_C и активную мощность каждой фазы потребителя P_A, P_B, P_C .

1. Начертить схему измерения.
2. Используя таблицы, приведенные в указаниях к данной задаче, выберите все необходимые электроизмерительные приборы и измерительные трансформаторы тока.
3. Определите:
 - 3.1. Показания каждого амперметра I'_A, I'_B, I'_C и токи фаз I_A, I_B, I_C , если стрелки амперметров отклонились соответственно на $\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C$ делений;
 - 3.2. Показания каждого ваттметра в ваттах P'_A, P'_B, P'_C , согласно значениям токов и напряжения, подведенным к обмоткам ваттметров;
 - 3.3. Постоянную (цену деления) ваттметров C_p ;
 - 3.4. Число делений шкалы, на которые отклонятся стрелки каждого из ваттметров $\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C$;
 - 3.5. Активные мощности каждой из фаз потребителя P_A, P_B, P_C и мощность всего потребителя P .

Таблица. Исходных данных к задаче

Номер варианта	$I_{p \text{ макс}}, A$	Наименование параметров		
		α_A	α_B	α_C
0	70	8	10	12
1	90	10	12	14
2	120	14	16	18
3	140	16	18	20
4	160	18	20	22
5	180	20	22	24
6	200	10	14	12
7	190	20	12	15
8	240	24	18	20
9	260	14	20	18

Методические указания к решению задачи

Задача. Потребитель с неравномерной активной нагрузкой фаз, соединенной звездой, подключен к трехфазной четырехпроводной сети переменного тока $380/220\text{ В}$, имеющей симметричную систему напряжений. Максимальный рабочий ток каждой из фаз линии может достигать $I_{p \text{ макс}} = 220\text{ А}$.

Необходимо измерить напряжение каждой фазы U_A, U_B, U_C и одно из линейных напряжений U_L , токи каждой из фаз I_A, I_B, I_C и активную мощность каждой фазы потребителя P_A, P_B, P_C .

1. Начертить схему измерения.

2. Используя таблицы, приведенные в указаниях к данной задаче, выберите все необходимые электроизмерительные приборы и измерительные трансформаторы тока.
3. Определите:
 - 3.1. Показания каждого амперметра I'_A, I'_B, I'_C и токи фаз I_A, I_B, I_C , если стрелки амперметров отклонились соответственно на $\alpha_A = 16$ дел, $\alpha_B = 12$ дел, $\alpha_C = 10$ дел;
 - 3.2. Показания каждого ваттметра в ваттах P'_A, P'_B, P'_C , согласно значениям токов и напряжения, подведенным к обмоткам ваттметров;
 - 3.3. Постоянную (цену деления) ваттметров C_p ;
 - 3.4. Число делений шкалы, на которые отклонятся стрелки каждого из ваттметров $\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C$;
 - 3.5. Активные мощности каждой из фаз потребителя P_A, P_B, P_C и мощность всего потребителя P .

Дано:

$$I_{p \text{ макс}} = 220 \text{ A.}$$

Решение:

1. Схема измерения мощности:
2. Для измерения тока и подключения токовых катушек ваттметров выбираем трансформатор тока с $I_H = 300 \text{ A} > I_{p \text{ макс}} = 220 \text{ A}$ с $K_I = 300/5$; вольтметр с $U_H = 250 \text{ B}$; ваттметр Д 529/4 с $I_H = 5 \text{ A}$ и $U_H = 300 \text{ B}$; амперметр с $I_H = 5 \text{ A}$.
3. Определяем:
 - 3.1. Показания амперметров:

$$I'_A = c_i \cdot \alpha_A = 0,2 \cdot 16 = 3,2 \text{ A}$$

$$I'_B = c_i \cdot \alpha_B = 0,2 \cdot 12 = 2,4 \text{ A}$$

$$I'_C = c_i \cdot \alpha_C = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ A}$$

токи фаз:

$$I_A = K_I \cdot I'_A = \frac{300}{5} \cdot 3,2 = 192 \text{ A}$$

$$I_B = K_I \cdot I'_B = \frac{300}{5} \cdot 2,4 = 144 \text{ A}$$

$$I_C = K_I \cdot I'_C = \frac{300}{5} \cdot 2 = 120 \text{ A}$$
 - 3.2. Показатели ваттметров:

$$P'_A = I'_A \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi_A = 3,2 \cdot 220 \cdot 1 = 704 \text{ Вт};$$

$$P'_B = I'_B \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi_B = 2,4 \cdot 220 \cdot 1 = 528 \text{ Вт};$$

$$P'_C = I'_C \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi_C = 2 \cdot 220 \cdot 1 = 440 \text{ Вт}; \text{ где } \cos \varphi = 1.$$

3.3. Постоянную (цену деления) ваттметра:

$$C_P = \frac{U_H \cdot I_H}{\alpha_H} = \frac{300 \cdot 5}{100} = 15 \text{ Вт/дел.}$$

3.4. Число делений, на которые отклоняются стрелки ваттметров:

$$\alpha_A = \frac{P'_A}{C_P} = \frac{704}{15} = 46,9 \text{ дел.};$$

$$\alpha_B = \frac{P'_B}{C_P} = \frac{582}{15} = 35,2 \text{ дел.};$$

$$\alpha_C = \frac{P'_C}{C_P} = \frac{440}{15} = 29,3 \text{ дел.}$$

3.5. Активные мощности каждой фазы:

$$P_A = K_I \cdot K_U \cdot P'_A = 60 \cdot 1 \cdot 704 = 42,2 \text{ кВт};$$

$$P_B = K_I \cdot K_U \cdot P'_B = 60 \cdot 1 \cdot 528 = 31,7 \text{ кВт};$$

$$P_C = K_I \cdot K_U \cdot P'_C = 60 \cdot 1 \cdot 440 = 26,4 \text{ кВт};$$

Мощность всего потребителя

$$P = P_A + P_B + P_C = 42,2 + 31,7 + 26,4 = 110,3 \text{ кВт}.$$

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Выполнить расчет погрешностей по предложенному варианту.

Практическая работа

Тема: Учет электрической энергии в цепях переменного тока

Задача. Для проверки однофазного счетчика с техническими данными, указанными в таблице, в цепь включили приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр, счетчик электрической энергии. Начертите схему цепи, определите величины: 1) показания ваттметра P ; 2) номинальную постоянную счетчика C_H ; 3) действительную постоянную счетчика C_d ; 4) абсолютную погрешность счетчика ΔC ; 5) относительную погрешность счетчика γ ; 6) класс точности счетчика.

При поверке счетчика поддерживалась нагрузка с $\cos\varphi = 0,8$.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номер варианта	Наименование параметров				
	I, А	U, В	n, обор. диска 1 кВт. ч	N, оборот.	t, с
0	4,5	130	1250	10	60
1	4	127	1250	16	90
2	5	220	1200	22	60
3	3,5	230	1220	35	120
4	5	220	640	12	60

5	4	230	640	14	90
6	4,5	210	600	11	120
7	4	130	1250	17	120
8	4	230	1280	30	90
9	4,5	130	1290	18	90

Методические указания к решению задачи

Задача. Для проверки однофазного счетчика с техническими данными, указанными в таблице, в цепь включили приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр, счетчик электрической энергии. Начертите схему цепи, определите величины: 1) показания ваттметра P ; 2) номинальную постоянную счетчика C_H ; 3) действительную постоянную счетчика C_D ; 4) абсолютную погрешность счетчика ΔC ; 5) относительную погрешность счетчика γ ; 6) класс точности счетчика.

При поверке счетчика поддерживалась нагрузка с $\cos\varphi = 0,8$.

Дано:

$K_H = 1270$ оборотов/кВт. ч; $I = 5$ А; $U = 220$ В; $N = 25$ обор.; $\cos\varphi = 0,8$.

Решение:

1. Показания ваттметра: $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 220 \cdot 5 \cdot 0,8 = 880$ Вт.

2. Действительная постоянная счетчика:

$$C_D = \frac{P \cdot t}{N} = \frac{880 \cdot 60}{25} = 2112 \text{ Вт} \cdot \text{сек} / \text{об}.$$

3. Номинальная постоянная счетчика:

$$C_H = \frac{I}{K_H} = \frac{1000 \cdot 3600}{1270} = 2835 \text{ Вт} \cdot \text{сек} / \text{об}.$$

4. Абсолютная погрешность счетчика:

$$\Delta C = C_H - C_D = 2835 - 2112 = 722 \text{ Вт} \cdot \text{сек} / \text{об}.$$

5. Относительная погрешность: $\gamma = \frac{\Delta C}{C_D} \cdot 100 = \frac{722}{2835} \cdot 100 = 25\%$.

Содержание отчета практической работы:

1. Тема практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Выполнить расчет погрешностей по предложенному варианту.

Практическая работа № 5.

Тема: «Единицы физических величин, используемых при наладке электрооборудования»

1. Заполните данную таблицу, используя таблицы: «Международная система единиц (СИ)», «Разложение производных единиц».

Наименование величины	Единица		Соотношение с основными и производными единицами СИ	
	Наименование	Обозначение		
	Международное		Русское	
Сила электрического тока				_____
Частота				
Сила, вес				
Работа, энергия				

Мощность

Количество
электричества
(электрический
заряд)

Электрическое
напряжение,
электрический
потенциал, ЭДС

Электрическая
ёмкость

Электрическое
сопротивление

Электрическая
проводимость

Магнитный поток

Магнитная индукция

Индуктивность

2. Заполните данную таблицу, используя таблицу «Приставки».

Обозначение единицы измерения

Название единицы измерения

мА

пФ

МОм

кВт

кВ

мГн

мкТл

мВб

МГц

кДж

кН . м

кВ/м

А/м²

Практическая работа

Тема: сдача в эксплуатацию контакторов, магнитных пускателей и переключателей.

Цель работы: Изучить условия сдачи в эксплуатацию контакторов, магнитных пускателей и переключателей.

Методическая часть практической работы:

Для изучения условий, при которых магнитные пускатели и контакторы принимают в эксплуатацию, необходимо знать неисправности, возникающие в процессе эксплуатации и способы их устранения.

Неисправности электрических аппаратов

Вид отказа	Причина	Устранение
Общие неисправности пускателей, автоматов, реле, кнопок управления		
Нет напряжения на выходе аппарата	1. Подвижные контакты не касаются неподвижных из-за мусора, грязи или	Разобрать аппарат, проверить состояние контактов и устранить неисправность

	неисправности	
	2. Сильное окисление контактов	Почистить напильником, надфилем, стеклянной наждачной бумагой, растворителем в зависимости от величины и состояния контактов
Аппарат не срабатывает	Заклинен механизм из-за поломки или мусора	Проверить и устранить причину
Общие неисправности пускателей, автоматов		
Обгорание одного или более зажимов присоединения проводов у пускателей и автоматов - вместе с корпусом	Слабо закреплен неподвижный контакт и нельзя достичь плотного прилегания к нему подвижного	Заменить автомат, съемную часть пускателя, у новых аппаратов проверять крепление контактов
Перегрев и окисление зажимов присоединения проводов	1. Слабое затягивание зажимов	Разобрать крепление зажимов, зачистить и собрать вновь, применив пружинные шайбы, контргайки
	2. Малое сечение проводов	Заменить провода
Общие неисправности пускателей и автоматов		
Аппарат отключается при нагрузке	1. Установка защиты не соответствует току	Отрегулировать защиту
	2. Перегрузка пусковым током двигателя при затяжном пуске	Проверить двигатель и приводимый механизм для выявления источника торможения при пуске
На выходе аппарата нет одной или более фаз	Сгорание тепловых элементов защиты	Заменить тепловые элементы, или при их отсутствии в запасе - весь аппарат
Неисправности магнитных пускателей		
Пускатель не включается	Отсутствие напряжения в цепи катушки пускателя по	

	следующим причинам:	
	1. Нет напряжения в питающей сети	Выяснить причину
	2. Нет напряжения в цепи управления пускателя по следующим причинам:	
	а) Сработала защита	Устранить причину срабатывания защиты
	б) Обрыв цепи управления	Проверить цепь управления
	3. Нет напряжения на катушке:	
	а) Нет выхода напряжения от кнопок "Ход" или "Стоп"	Проверить исправность кнопок, отсутствие загрязнений в них
Пускатель не включается при наличии напряжения на вводе в катушку	б) То же для других аппаратов в цепи управления	Проверить контакты этих аппаратов
	1. Окисление зажимов или контактов на вводе в катушку	Зачистить зажимы или контакты
	2. Слабое нажатие в зажимах или на контактах	Устранить регулировкой контактов или затягиванием зажимов
	3. Обрыв в обмотке катушки	Заменить катушку
	4. Сгорела изоляция обмотки катушки по следующим причинам:	
	а) ухудшение сопротивления изоляции обмотки	Заменить катушку
	б) ток в катушке больше номинального, так как она рассчитана на меньшее напряжение	Применить катушку на соответствующее напряжение
	в) при неплотном прилегании якоря электромагнита воздушный зазор увеличен, из-за чего	Устранить причину неплотного прилегания якоря

	индуктивное сопротивление обмотки уменьшено и ток увеличен	
	г) при пуске мощного двигателя при малой мощности трансформатора подстанции и её большом удалении происходит падение напряжения, якорь прилегает неплотно и вибрирует, что увеличивает ток в катушке	В данных условиях пускатель можно заменить автоматом
	д) частые пуски двигателя, когда его пытаются пустить в заклиненном положении, ведут к падению напряжения и перегреву катушки	Не пускать в ход заклиненный двигатель
Пускатель не включается при наличии напряжения на вводе в катушку	Пускатель заклинен при замерзании влаги в зазорах	Разобрать и собрать пускатель
Пускатель работает ненормально		
Вибрация и искрение пускателя	Уменьшение напряжения по следующим причинам:	
	1. Мала мощность трансформатора для данного двигателя	Замена пускателя на автомат и контроль нагрева двигателя
	2. Большая удаленность подстанции при проводах малого сечения	Замена проводов на провода большого сечения
	3. Несимметрия питающего напряжения	Измерить напряжение и при несимметрии устранить её
Вибрация и искрение пускателя	1. Пускатель заклинен	Разобрать пускатель и устранить неисправности
	2. Ослабло крепление деталей пускателя	Закрепить детали пускателя

	3. Окислитель детали магнитопровода в зазоре	Почистить детали магнитопровода
	4. Неплотности контактов или зажимов в цепи управления	Проверить состояние контактов и зажимов, устранить неисправности
Пускатель включается, но двигатель не работает	Отпаялась и отвалились контакты от контактных мостиков	Заменить контактные мостики
Пускатель ненормально гудит	Неплотное прилегания якоря магнитопровода по вышеперечисленным причинам 1-4	Устранить неисправности 1-4 (см. выше)
Пускатель не отключается	1. Кнопка "Ход" заклинена во включенном положении	Расширить гнездо хода толкателя
	2. Контакты кнопки "Ход" шунтированы замыканием тока цепи управления по пластмассовому корпусу, в котором они закреплены	Заменить кнопочный элемент
	3. Замыкание в проводах цепи управления при их повреждении	Найти и устранить неисправность
	4. Приварились контакты пускателя при сильном токе для данного пускателя	Рассоединить и зачистить контакты
	5. Пускатель заклинен из-за механических неисправностей	Устранить неисправности
	6. Заклинивание якоря магнитной системы, т.е. якорь не отпадает при отключении тока в катушке	Применить катушку на меньшее напряжение, уменьшив его и в цепи управления (заменить линейное напряжение на фазное)
	7. Слаба пружина, возвращающая якорь в отключенное положение	Заменить пружину
Неисправности автоматических выключателей		

Автомат не включается	Механические причины:	
	1. Препятствие ходу назад включающей рукоятки при подготовке рычагов механизма к включению	Расширить окно в крышке автомата, в котором ходит рукоятка, или отогнуть деталь, мешающую её ходу
	2. Не входит в зацепление рычаг механизма свободного расцепления	Заменить автомат
	3. Разрегулирован механизм тепловой защиты и отключает автомат как при перегрузке	Отрегулировать механизм
	4. При включении выключателя при снятой крышке действует блокировка от такого включения при её наличии	Не включать автомат при снятой крышке
Отключение автомата во время работы	Электрические причины: срабатывание от тока короткого замыкания или перегрузки	Найти причину увеличения тока и устранить её
	1. Короткое замыкание или перегрузка	Найти причину увеличения тока и устранить её
	2. Нагрев зажимов проводов и передача тепла на тепловые элементы защиты	Разобрать, зачистить и собрать зажимы
	3. Несимметрия питающего напряжения приводит к увеличению тока, потребляемого двигателями	Устранить несимметрию напряжения
Автомат не включается вручную	1. Не хватает усилия отключить мощный автомат	Для усиления применить добавочную рукоятку, входящую в комплект
	2. Не хватает хода рукоятки в прорези крышки	Расширить прорезь крышки
Неисправности кнопочных постов		
Кнопки не	1. Застыла влага в зазорах	Оттаивание факелом (при

поддаются воздействию		отсутствии пожарной опасности) или горячей водой
	2. Застыла резина герметизации постов при морозе	Оттаивание, в дальнейшем применять морозостойкую резину в кнопочных постах
Кнопка "Ход" не включает	Слой льда или пыли на контактах	Чистка, в дальнейшем герметизация
Кнопка "Стоп" не отключает	1. Неподвижные контакты элемента замкнуты по пыли	Чистка
	2. Пробой по пластмассе корпуса между теми же контактами	Замена кнопочных элементов
	3. Поломка кнопочных элементов	Замена элементов

Для предотвращения быстрого износа и отказов, поддержания в постоянной готовности к использованию по назначению, обеспечения безопасной работы проводится техническое обслуживание пускателей. Виды и регламенты технического обслуживания и испытаний определены Правилами безопасности и Положением о планово-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта оборудования промышленных предприятий.

Пускатели в процессе эксплуатации должны периодически осматриваться:

- а)** лицами, работающими на технологических машинах, а также дежурными электрослесарями, электромонтерами участка — ежесменно;
- б)** механиками участков или лицами, их замещающими — еженедельно;
- в)** главным энергетиком (главным механиком) или назначенными им лицами — не реже 1 раза в 3 мес.

Ежесменный осмотр производят в начале каждой смены без вскрытия оболочки пускателя. При этом проверяют следующее:

- 1.** Место установки пускателя, где должно быть исключено возможное обрушение кровли, повреждение транспортными средствами, попадание воды. Пускатель

должен быть собран и укомплектован в соответствии с инструкцией завода-изготовителя.

2. Чистоту наружных поверхностей пускателя, т. е. отсутствие на них угольной пыли и другого горючего материала.

3. Целость оболочки. Взрывобезопасная оболочка не должна иметь трещин, прожогов, отверстий, неисправных защитных стекол и других повреждений.

4. Наличие крепежных гаек и болтов, их затяжку. Гайки и болты должны быть полностью затянуты так, чтобы фланцы крыш и корпуса взрывобезопасной оболочки плотно прилегали по всему периметру. Запрещается эксплуатация пускателя при отсутствии или недостаточной затяжке хотя бы одного болта или гайки.

5. Исправность вводных устройств, наличие элементов уплотнения и крепления кабеля. Кабель не должен проворачиваться или перемещаться в осевом направлении. Ослабленные болты или гайки, предназначенные для уплотнения резинового кольца и закрепления кабеля от выдергивания, необходимо подтянуть.

6. Отсутствие не закрытых взрывонепроницаемой заглушкой кабельных вводов пускателя, которые не используются в работе.

7. Исправность устройств для облегчения открывания крышки и наличие специальных ключей к ним.

8. Наличие пломб на пускателях и надписей, указывающих включаемую технологическую машину, величину установки тока максимальной токовой защиты и максимальной токовой защиты от перегрузки.

9. Ширину щели (зазора) в плоских соединениях между наружными частями оболочки, подвергавшейся вскрытию, при нормальной затяжке крепежных болтов. Ежеквартальную ревизию проводят с открыванием крышек взрывобезопасной оболочки, разборкой вводов (в случае необходимости), осмотром всех электрических элементов пускателя и выполнением необходимого технического ремонта. Перед ревизией следует: посредством ближайшего

выключателя снять напряжение с подвергающегося ревизии пускателя и на его рукоятке повесить плакат «Не включать, работают люди»; открыть крышку вводного отделения пускателя и убедиться в отсутствии напряжения.

10. Чистоту внутренних поверхностей оболочки. Для этого открывают все крышки оболочки и, если надо, очищают поверхность и установленные элементы пускателя от влаги и пыли. Ввод коробки снимают в случае необходимости.

11. Состояние взрывозащитных поверхностей. При наличии загрязнений очищают поверхность ветошью от смазки и пыли, шлифовальной шкуркой — от ржавчины.

12. Наличие и состояние эластичных уплотняющих прокладок (если предусмотрено конструкцией пускателя). Смятые или разорванные прокладки должны быть заменены.

13. Качество уплотнений гибких и бронированных кабелей при сухой заделке последних.

14. Исправность охранных колец для головок крепежных болтов и гаек.

15. Качество затяжки присоединенных кабельных жил к зажимам и состояние этих зажимов. Ослабленные гайки или болты подтягивают, изоляционные втулки, имеющие сколы или трещины, заменяют.

16. Состояние монтажа внутренней проводки и элементов пускателя: гайки и болты на зажимах подтягивают, поврежденные места изоляции проводников изолируют, а в случае необходимости проводник заменяют.

17. Исправность механической блокировки крышки, которая должна работать четко и надежно.

18. Состояние смотровых окон. Окона проверяют без разборки, обращая внимание на целостность стекол и отметку «В», наличие на них крепежных элементов и их затяжку.

В процессе эксплуатации пускателя необходимо следить за исправностью элементов

схем ДУ, БРУ, МТЗ, БКЗ и контакторов. После аварийного отключения автоматического выключателя или после срабатывания собственной МТЗ пускателя рекомендуется проводить его профилактический осмотр, обращая особое внимание на состояние главных контактов контактора и исправность дугогасительных устройств. Во время эксплуатации запрещается непосредственно в шахте вскрывать промежуточное реле, блоки управления и защиты, ремонтировать или регулировать элементы, встроенные в эти блоки, а также реле МТЗ. Эти работы должны производиться на поверхности квалифицированным персоналом на специальных стендах с последующим опломбированием реле или блоков. При неполадках в блоках управления или защиты необходимо заменить их запасными. При значительных неполадках в работе контактора его также следует заменить запасным, а неисправный выдать на поверхность для ремонта.

Возможные неисправности и способы их устранения.

<i>Неисправность</i>	<i>Вероятные причины</i>	<i>Рекомендации</i>
Пускатель (контактор) не включается	1.1. Нет напряжения в цепи управления 1.2. Напряжение цепи не соответствует напряжению катушки или обрыв в обмотке катушки 1.3. Неправильно выполнен монтаж вспомогательной цепи 1.4. Заедает подвижная система 1.5. Тепловое реле не включено	1.1 Проверить питание 1.2 Заменить катушку 1.3 Изменить монтаж 1.4 Восстановить ход системы 1.5 Нажать на кнопку теплового реле
2 Пускатель (контактор) издаёт резкий шум	2.1. Наличие пыли и посторонних тел в немагнитном зазоре	2.1 Зачистить зазор
3. При снятии напряжения с	3.1. Механическое заклинивание 3.2. Приварились контакты.	3.1 Восстановить ход траверсы

катушки якорь не
отпадает или
отпадает частично

3.2 Заменить главные
контакты

4. Ток не проходит
через контакты

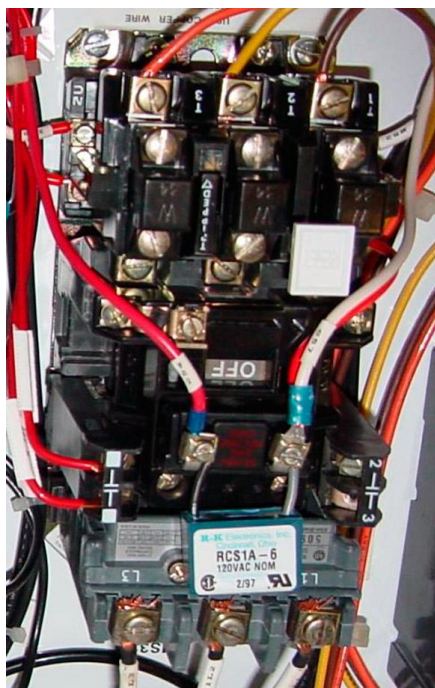
- 4.1. Плохое контактирование
- 4.2. Поломка подвижного
мостика,
полный износ одного из
контактов
- 4.3. Ослабление зажимов
- 4.4. Обрыв провода

- 4.1 Зачистить контакты
- 4.2 Заменить главные
контакты
- 4.3 Подтянуть винтовые
соединения
- 4.4 Заменить провод

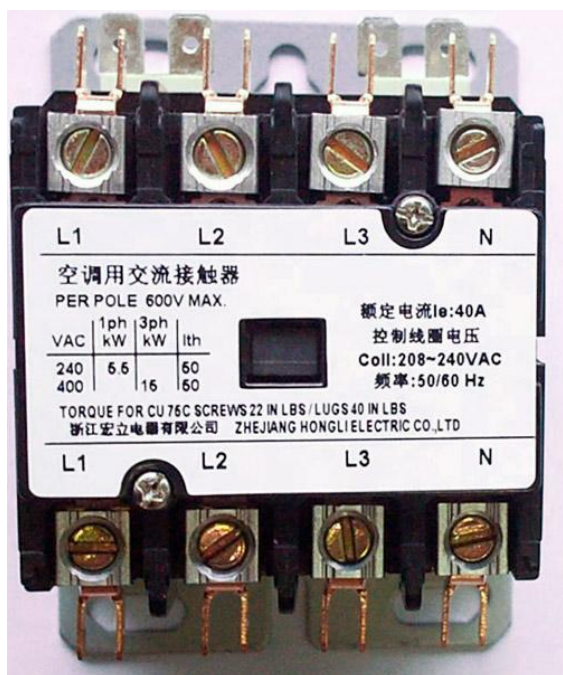
5. Тепловое реле
отключает
пускатель
(контактор)

- 5.1. Ток несрабатывания
теплового
реле не соответствует току
двигателя
- 5.2. Обрыв одной из фаз
двигателя
- 5.3 Перегрузка двигателя по
отношению к номинальному току
- 5.4 Увеличенное время пуска
двигателя
- 5.5. Ударные нагрузки или
вибрации превышают
допустимый уровень

- 5.1 Отрегулировать ток
несрабатывания
- 5.2 Устранить обрыв фазы
- 5.3 Установить и устранить
причину
- 5.4 Установить и устранить
причину
- 5.5 Условия установки пр
привести в соответствие с
нормами



Для осмотра контактора и других аппаратов, расположенных в обслуживаемой полости пускателя серии ПМВИ и ПМВИР, должна соблюдаться следующая очередность операций снятия крышки: снять напряжение с ввода пускателя; нажать на толкатель кнопки «Стоп» пускателя и поворотом рукоятки разъединителя выключить его: специальным ключом вернуть блокировочный винт, расположенный на корпусе пускателя; повернуть крышку против часовой стрелки и снять ее на себя. У пускателей серии ПВИ блокировочный разъединитель смонтирован в отдельной взрывобезопасной камере, поэтому при открывании быстрооткрываемой крышки должна также соблюдаться такая последовательность операций: нажать на толкатель привода кнопки «Стоп» пускателя и повернуть рукоятку привода разъединителя в положение «Отключено»; разблокировать привод замка крышки; с помощью специального ключа повернуть приводной валик замка быстрооткрываемой крышки в направлении «Откр»; открыть крышку. Проверка БРУ производится кнопкой «Проверка БРУ», на которую воздействуют посредством флажка, имеющегося на оболочке пускателя. При повороте и удерживании флажка в этом положении и исправном БРУ должна загораться сигнальная лампа.



Для проверки пускателей, которые укомплектованы защитой УМЗ, необходимо выключить разъединитель, открыть крышку пускателя, установить рукоятки тумблеров на блоке УМЗ в положение «Проверка», закрыть крышку, включить разъединитель пускателя и нажать на кнопку «Пуск». При исправном УМЗ под действием пускового тока АД пускатель должен отключаться и при этом загорается сигнальная лампа с красным светофильтром. После проверки защиты снова отключают разъединитель, открывают крышку, осуществляют взвод УМЗ путем перестановки тумблеров переключателей в положение «Работа», закрывают крышку и выключают разъединитель пускателя. Принципиально важно исключить возможность самопроизвольного включения пускателя при замыкании проводов цепи управления (защита от потери управляемости) и после перерыва в электроснабжении (нулевая защита). Защита от потери управляемости достигается тем, что при замыкании между проводами управления шунтируется диод и замыкание не приводит к самопроизвольному включению. Нулевая защита достигается применением в пускателях электромагнитных контакторов и промежуточных реле, а также соответствующей схемы управления промежуточным реле.

В двухпроводных схемах управления резистор $R = 47 \text{ Ом}$, шунтирующий пусковую

кнопку, обеспечивает нулевую защиту только при условии, что элементы схемы управления имеют параметры, оговоренные заводом-изготовителем. Если пускатель не включается по причине недопустимого снижения напряжения в шахтной сети (менее $0,85U_{\text{ном}}$) или из-за высокого (более 20 Ом) сопротивления цепи управления вследствие ухудшения переходных контактов, категорически запрещается уменьшать воздушный зазор между сердечником и якорем магнитной системы или расслабить пружины промежуточного реле. При уменьшении воздушного зазора на 2 мм возможно самопроизвольное включение пускателя при номинальном напряжении сети, а при пиковом повышении напряжения в сети до $1,5U_{\text{ном}}$ - при снижении зазора на 1 мм. При отсутствии замыканий между двумя проводами трехпроводной системы управления изменение параметров срабатывания промежуточного реле не приводит к его самоотключению. Поэтому во всех случаях при наличии трех свободных жил дистанционное управление должно осуществляться по трехпроводной схеме. Однако и при трехпроводной схеме управления категорически запрещается непосредственно в шахте производить регулировку промежуточного реле, так как при замыкании между проводами 1 и 2 трехпроводная система управления становится двухпроводной. Следует помнить, что такое замыкание может быть в течение длительного времени не обнаружено обслуживающим персоналом, так как оно не сказывается на работоспособности схемы управления. В процессе эксплуатации не рекомендуется изменять полярность включения концевого диода в цепи управления, т.к. при этом за счет перемагничивания магнитной системы промежуточного реле снижаются эксплуатационные характеристики схемы управления. По данным МакНИИ в течение 3...5 циклов включения после изменения полярности диода максимальное сопротивление цепи управления, при котором устойчиво срабатывает промежуточное реле, снижается на 5...6 Ом. При управлении пускателем как по двухпроводной, так и по трехпроводной схеме управления для предупреждения самовключения пускателя от замыкания между жилами управления диод должен быть включен в конце линии управления после кнопки «Стоп». При управлении пускателем по трехпроводной схеме резистор, который не допускает самовключения пускателя при замыкании между проводами цепи управления, должен быть

установлен в кнопочном посту. Для удобства подключения диода и резистора завод-изготовитель вместе с пускателем поставляет концевой блок, состоящий из диода типа Д226Б и резистора (47 Ом; 7,5 Вт), залитых эпоксидным компаундом. Категорически запрещается осуществлять управление пускателем по двухпроводной схеме с использованием только кнопок «Пуск» или «Стоп» с фиксатором, так как в этом случае отсутствует нулевая защита. Как правило, цепи управления пускателя выполняют с использованием заземляющей жилы кабеля, в том случае обеспечивается автоматический контроль цепи заземления. Контроль цепи заземления в сетях с номинальным напряжением 1140 В осуществляется с помощью блока БКЗ. Кроме работ, выполняемых при ежесменном Т01, при ежесуточном Т02 проверяют наличие и исправность механических блокировок, качество затяжки крепежа, правильность функционирования электрической схемы, а также проводят (при необходимости) ремонтные работы по замечаниям обслуживающего персонала.

Контрольные вопросы:

1. В чем разница между контактором и магнитным пускателем?
2. Перечислить элементы устройства магнитного пускателя с тепловой защитой электродвигателя.
3. Перечислить условия приемки магнитных пускателей в эксплуатацию.

Содержание отчета:

1. Название и цель практической работы.
2. Начертить схему подключения электродвигателя через не реверсивный магнитный пускатель.
3. Ответы на контрольные вопросы.
4. Заполнить таблицу:

**Возможные неисправности магнитных пускателей и контакторов,
способы их устранения.**

<i>Неисправность</i>	<i>Вероятные причины</i>	<i>Рекомендации</i>
1. Пускатель (контактор) не включается		
2 Пускатель (контактор) издаёт резкий шум		
3. При снятии напряжения с катушки якорь не отпадает или отпадает частично		
4. Ток не проходит через контакты		
5. Тепловое реле отключает пускатель		

Ответ на заполнение таблицы:

<i>Неисправность</i>	<i>Вероятные причины</i>	<i>Рекомендации</i>
1. Пускатель (контактор) не включается	1.1. Нет напряжения в цепи управления 1.2. Напряжение цепи не соответствует напряжению катушки или обрыв в обмотке катушки 1.3. Неправильно выполнен монтаж вспомогательной цепи 1.4. Заедает подвижная система 1.5. Тепловое реле не включено	1.1. Проверить питание 1.2. Заменить катушку 1.3. Изменить монтаж 1.4. Восстановить ход системы 1.5. Нажать на кнопку теплового реле
2 Пускатель (контактор) издаёт резкий шум	2.1. Наличие пыли и посторонних тел в немагнитном зазоре	2.1. Зачистить зазор
3. При снятии напряжения с катушки якорь не отпадает или отпадает частично	3.1. Механическое заклинивание 3.2. Приварились контакты.	3.1. Восстановить ход траверсы 3.2. Заменить главные контакты
4. Ток не проходит через контакты	1. Плохое контактирование 4.2. Поломка подвижного мостика, полный износ одного из контактов 4.3. Ослабление зажимов 4.4. Обрыв провода	4.1. Зачистить контакты 4.2. Заменить главные контакты 4.3. Подтянуть винтовые соединения 4.4. Заменить провод
5. Тепловое реле	5.1. Ток несрабатывания	5.1. Отрегулировать ток

отключает пускатель	<p>теплового реле не соответствует току двигателя</p> <p>5.2. Обрыв одной из фаз двигателя</p> <p>5.3 Перегрузка двигателя по отношению к номинальному току</p> <p>5.4 Увеличенное время пуска двигателя</p> <p>5.5. Ударные нагрузки или вибрации превышают допустимый уровень</p>	<p>несрабатывания</p> <p>5.2. Устранить обрыв фазы</p> <p>5.3. Установить и устранить причину</p> <p>5.4. Установить и устранить причину</p> <p>5.5. Условия установки привести в соответствие с нормами</p>
------------------------	---	--

Практическая работа

Тема: Проведение проверок, измерений и испытательных работ трубчатых и вентильных разрядников.

Цель работы: Изучить условия сдачи в эксплуатацию разрядников.

Методическая часть практической работы:

В процессе эксплуатации за разрядниками ведется систематический надзор, который состоит из периодических осмотров, плановых ремонтов и профилактических испытаний. Перед производством измерений и испытаний вентильные разрядники должны быть подвергнуты осмотру, при котором необходимо проверять целостность фарфоровых покрышек, на которых могут быть сколы и трещины, особенно вблизи фланцев.

Трещины в покрышках могут появляться по разным причинам, например при упоре подставных лестниц к разрядникам во время их чистки от загрязнений, от перетяжки ошиновки при монтаже (с понижением температуры наружного воздуха тяжение увеличивается и разрушает фарфоровую покрышку), от установки тяжелых переносных заземляющих закороток на ошиновку разрядника. Сильные порывы ветра, создающие нагрузку на разрядник, также могут вызвать трещины в фарфоровых покрышках. Наряду с внешними механическими нагрузками на разрядники существенное влияние оказывают и термомеханические усилия, возникающие в разрядниках вследствие различия температурных коэффициентов фарфора, цемента и металла при резких изменениях температуры наружного воздуха, а также усилия от замерзшей воды, проникшей в цементные швы при нарушении их защитного покрова. При

этих усилиях могут давать трещины как фарфоровая крышка, так и силуминовые фланцы.

С целью предупреждения попадания влаги в полость разрядника в эксплуатации цементные швы между фланцем и фарфоровой крышкой должны быть целыми и закрашены влагостойкой масляной или эмалевой краской. Следует иметь в виду, что загрязнение поверхности фарфоровых крышек элементов разрядника вызывает искажение распределения напряжения по искровым промежуткам, перегрев шунтирующих резисторов каскадный пробой искровых промежутков при рабочем напряжении, причем на разрядники, состоящие из нескольких рабочих элементов, загрязнение оказывает большее влияние, чем на одноэлементные разрядники на то же напряжение.

Особое внимание следует обратить на появление потеков ржавчины на поверхности фарфоровых крышек. Эти потеки появляются вследствие несвоевременного окрашивания головок и гаек крепежа элементов разрядника. Потеки образуют проводящие дорожки по фарфору и могут привести к перекрытию разрядника по поверхности.

Вентильные разрядники могут иметь также повреждения, которые невозможно выявить наружными осмотрами разрядников. Такие повреждения, как правило, имеют место внутри разрядника при нарушении герметизации разрядников и проникновения влаги во внутреннюю полость. При увлажнении у некоторых промежутков снижается разрядное напряжение вследствие закорачивания их каплями воды или продуктами коррозии электродов. Частичное увлажнение шунтирующих резисторов приводит к неравномерному распределению напряжения по искровым промежуткам, снижению пробивного напряжения и дугогасящих свойств разрядника. Разрядники с пониженным пробивным напряжением срабатывают при внутренних перенапряжениях, на которые они не рассчитаны, и разрушаются. У дисков нелинейных последовательных резисторов при увлажнении значительно изменяются характеристики: повышается коэффициент вентильности и уменьшается их пропускная способность.

Встречаются также разрывы цепи в шунтирующих резисторах и между последовательным резистором и герметизирующей латунной прокладкой. В первом случае лопаются шунтирующие резисторы или заклепки, а во втором

сползает резиновая прокладка, и диски последовательных резисторов, упираясь в нее, разрывают цепь. Такие повреждения появляются в результате некачественной сборки разрядников или при неправильной их транспортировке.

Все перечисленные повреждения вызывают изменение электрических характеристик разрядника, следовательно для выявления таких повреждений достаточно проверить характеристики разрядника, по которым можно судить о его состоянии.

Нормы испытаний вентильных разрядников, находящихся в эксплуатации:

Профилактические испытания вентильных разрядников проводят при капитальном ремонте (К) и в межремонтный период (М). К - проводятся при выводе в ремонт оборудования, к которому подключены разрядники, но не реже 1 раза в 8 лет (измерение сопротивления разрядников, отключаемых на зимний период, производится ежегодно). Объем профилактических испытаний, предусмотренный ПЭЭП, включает следующие работы.

1. Измерение сопротивления элемента разрядника;
2. Измерение сопротивления имитатора;
3. Измерение сопротивления изоляции изолирующих оснований разрядников с регистраторами срабатывания;
4. Измерение тока проводимости (тока утечки);
5. Измерение пробивных напряжений при промышленной частоте;
6. Проверка герметичности разрядников.

Измерение сопротивления элемента разрядника.

Производится при капитальном ремонте, и в межремонтный период. Производится у разрядников на номинальное напряжение 3 кВ и выше мегаомметром 2500 В, у разрядников на номинальное напряжение ниже 3 кВ - мегаомметром на напряжение 1000 В. Сопротивление разрядника или его элемента должно отличаться не более чем на 30 % от результатов измерений на заводе-изготовителе или предыдущих измерений при эксплуатации. О порядке измерения изоляции следует руководствоваться указаниями п. измерение сопротивления элемента разрядника.

Измерение сопротивления имитатора.

Производится при капитальном ремонте, и в межремонтный период. Измеряется мегаомметром на напряжение 1000 В. Сопротивление имитатора должно отличаться не более чем на 50 % от результатов предыдущих измерений.

Измерение сопротивления изоляции изолирующих оснований разрядников с регистраторами срабатываний. Производится при капитальном ремонте, и в межремонтный период. Измеряется мегаомметром на напряжение 1000 - 2500 В. Измеренное сопротивление изоляции изолирующих оснований разрядников с регистраторами срабатывания должно быть не менее 1 МОм.

Регистраторы срабатывания служат для учета количества срабатывания вентильных разрядников. По их показаниям в ряде случаев удается установить причину повреждения оборудования от перенапряжений. Регистраторы срабатывания являются обязательным элементом разрядников на номинальное напряжение 6 кВ и выше. Промышленность для этой цели выпускает два типа счетчиков (регистраторов): РВР - регистратор вентильных разрядников и РР - регистратор разрядников.

При пробое искровых промежутков разрядника через резистор 1 проходит импульсный ток, который создает на нем падение напряжения. При достижении напряжения 2 – 2,5 кВ искровой промежуток 2 пробивается и ток проходит через плавкую вставку 3. Плавкая вставка выполняется из нихромовой проволоки диаметром 0,1 мм и служит упором для отсчетного барабанчика с циферблатом. При прохождении тока плавкая вставка сгорает, и барабанчик поворачивается до упора следующей вставки при этом в окошечке РВР появляется следующая цифра. Появление красной риски означает, что счет окончен. Барабанчик счетчика снова заряжается новой проволокой.

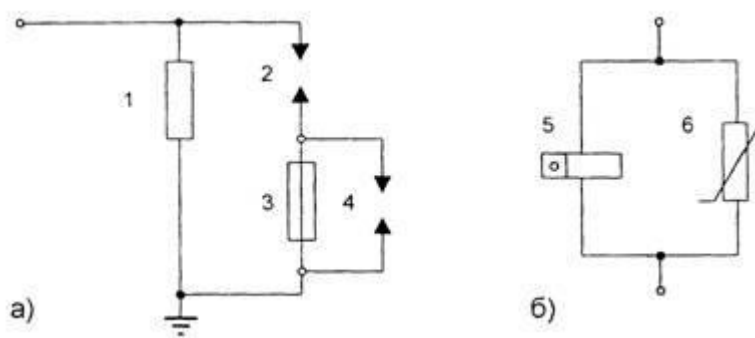


Рис. 5. Схема регистратора срабатывания РВР (а) и РР (б). 1 - резистор; 2, 4 - искровой промежуток; 3 - плавкая вставка; 5 - электромагнитный счетчик телефонного типа; 6 - термитовый диск.

Искровой промежуток 4 служит для ограничения величины перенапряжения в счетчике в случае, если произойдет повторное срабатывание разрядника в момент поворота барабанчика, когда сгоревшая плавкая вставка заменяется следующей.

Счетчики типа РР предназначены для применения с разрядниками, амплитуда сопровождающего тока которых не превышает 100 А.

Для импульсного тока индуктивность электромагнитного счетчика представляет большое сопротивление, поэтому импульсный ток проходит через термитовый диск. Электромагнитный счетчик приводится в действие при прохождении через него сопровождающего тока.

Измерение тока проводимости (тока утечки).

Производится при капитальном ремонте, и в межремонтный период. Измерение осуществляется с помощью источника выпрямленного напряжения, например аппарата АИИ-70. При этом пульсация выпрямленного напряжения должна быть не более 10 %. Периодичность проверки 1 раз в 6 лет, а также в случаях, когда при измерении мегаомметром обнаружено изменение сопротивления разрядника на 30 % и более по сравнению с заводскими данными или данными предыдущих измерений. Допустимые пределы проводимости (утечки) устанавливаются согласно заводским данным или местным инструкциям.

При эксплуатации осуществляют контроль состояния многоэлементных разрядников, находящихся под рабочим напряжением, с

помощью специальной штанги. Этот метод контроля заключается в измерении тока через нелинейные сопротивления специальной штанги, которые подсоединяются параллельно нижнему (первому от "земли") элементу разрядника. Набор нелинейных сопротивлений выполнен из шунтирующих полуколец разрядников серии РВС. Количество полуколец подбирают так, чтобы их общее сопротивление, замеренное мегаомметром 2500 В, составляло 800 - 1200 МОм (см. рис. 6).

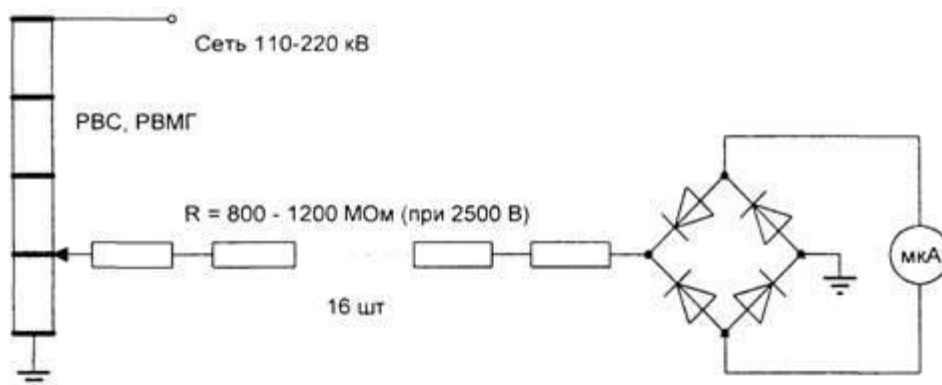


Рис. 6. Схема измерения с помощью специальной штанги

Нелинейность сопротивлений обеспечивает чувствительность схемы при изменении сопротивления какого-либо элемента контролируемого разрядника.

Измерение тока производится микроамперметром постоянного тока на 200 мкА (для разрядников типа РВС) или на 500 мкА (для разрядников типа РВМГ). Прибор включается через выпрямительный мостик.

Оценку состояния элементов разрядника производят сравнением полученных значений тока с данными предыдущих измерений. Первичные измерения необходимо производить на заведомо исправных разрядниках. В случаях значительных (более 15 %) изменений показаний прибора по сравнению с данными предыдущих измерений, контролируемый разрядник должен быть подвергнут обычным испытаниям — измерению сопротивления элементов разрядника мегаомметром на 2500 В или, при необходимости, тока проводимости. Только после этого делают окончательное заключение о состоянии элементов разрядника. На результат измерения влияют изменения температуры воздуха и напряжения на шинах подстанции. Эти величины должны фиксироваться в протоколе замеров. При оценке результатов

измерений необходимо учитывать характер изменений показаний прибора по всем фазам данного разрядника, а также и других разрядников подстанции. Измерения производят при температуре воздуха не ниже +5°C.

Перед сезоном измерений должна быть снята вольтамперная характеристика штанги и сверена с первоначальной. Штангой можно прикасаться только к первому от "земли" элементу разрядника. Измерение пробивных напряжений при промышленной частоте. Производится при капитальном ремонте, и в межремонтный период. Измерение производится только для разрядников, не имеющих шунтирующих сопротивлений, 1 раз в 6 лет. Измеренные пробивные напряжения могут отличаться от данных завода-изготовителя на +5 -10 %. О порядке измерения пробивных напряжений при промышленной частоте следует руководствоваться соответствующими указаниями.

Проверка герметичности разрядников. Производится при капитальном ремонте. Производится при разрежении 40-50 кПа (300-400 мм рт. ст.). Изменение давления при перекрытом вентиле за 1-2 ч должно быть не выше 0,07 кПа (0,5 мм рт. ст.).

2. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.

Для проведения испытаний применяется:

Испытательная установка АИД –70; Мегаомметр: на разрядниках и ОПНах с номинальным напряжением менее 3кВ – мегаомметрами на напряжение 1000В; на разрядниках и ОПНах с номинальным напряжением 3кВ и выше – мегаомметрами на напряжение 2500В.

3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ.

3.1. Вентильные разрядники и ограничители перенапряжений должны быть пройти:

- Измерение сопротивления;
- Измерение тока проводимости;

- Проверка элементов, входящих в комплект приспособления для измерения тока проводимости ограничителя перенапряжений под рабочим напряжением.

3.2. Трубчатые разрядники должны быть пройти:

- Проверка состояния поверхности разрядника;
- Измерение внешнего искрового промежутка;
- Проверка расположения зон выхлопа.

Таблица 1.

Вентильные разрядники и ограничители перенапряжений. К, М - производятся в сроки, устанавливаемые системой ППР

Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания
17.1. Измерение сопротивления разрядников и ограничителей перенапряжения	М	<p>Сопротивление ограничителей перенапряжений с номинальным напряжением менее 3кВ должно быть не менее 1000МОм.</p> <p>Сопротивление ограничителей перенапряжений с номинальным напряжением 3-35кВ должно соответствовать требованиям заводов-изготовителей. Сопротивление ограничителей перенапряжений с номинальным напряжением 110кВ и выше должно быть не менее 3000МОм и не должно 0% от данных, отличаться более чем на +/- приведенных в пас порте или полученных при предыдущих измерениях в эксплуатации. Сопротивление разрядников РВН, РВП, РВО, GZ должно быть не менее 1000МОм. Сопротивление элементов разрядников РВС должно соответствовать требованиям заводской инструкции, а элементов разрядников РВМ, РВРД, РВМГ - указанным в табл. 22 (Приложение 3.1).</p>	Измерения производятся при выводе в плановый ремонт оборудования, к которому подключены защитные аппараты, но не реже одного раза в 6лет. У разрядников и ОПН на номинальное напряжение 3кВ и выше измерения производятся мегаомметром на напряжение 2500В, у разрядников и ОПН на номинальное напряжение менее 3кВ-мегаомметром на напряжение 1000В.

17.2. Измерение сопротивлений изоляции изолирующих оснований разрядников с регистраторами срабатывания.		Сопротивление изоляции должно быть не менее 1МОм.	Измеряется мегаомметром на напряжение 1000-2500В.
17.3. Измерение тока проводимости вентильных разрядников при выпрямленном напряжении.	М	Значения токов проводимости вентильных разрядников должны соответствовать указанным заводом-изготовителем	Внеочередное измерение тока проводимости производится при изменении сопротивления
17.4. Измерение тока проводимости ограничителей перенапряжений	М	Значения токов проводимости ОПН должны соответствовать указанным заводом-изготовителем	В процессе эксплуатации для ограничителей 110 и 220кВ измерения рекомендуется производить без отключения от сети ежегодно перед грозовым сезоном по методике завода-изготовителя.
17.5. Проверка элементов, входящих в комплект приспособлений для измерения тока проводимости ограничителей под рабочим напряжением. 17.6. Измерение пробивного напряжения вентильных разрядников при	К	Производится в соответствии с указаниями завода-изготовителя. Измеренные пробивные напряжения могут отличаться от данных завода-изготовителя на +5-10%	Измерение производится только после ремонта со вскрытием разрядника по методике завода-изготовителя специально обученным персоналом при наличии установки, обеспечивающей ограничение времени приложения напряжения.

промышленной частоте.			
17.7. Проверка герметичности разрядника.	К	Изменение давления при перекрытом вентиле за 1-2 часа должно быть не выше 0,07кПа (0,5 мм рт.ст.).	Производится только после ремонта со вскрытием разрядника при разрежении 40-50кПа (300-400мм рт.ст.).
17.8. Тепловизионный контроль.	М	Производится в соответствии с установленными нормами и инструкциями заводов-изготовителей.	Производится в соответствии с установленными нормами и инструкциями заводов-изготовителей.

Трубчатые разрядники. К, Т, М - производятся согласно системе ППР

Особое внимание следует обратить на следующие мероприятия:

- присоединение испытательной установки к испытываемому электрооборудованию и отсоединение ее, а также наложение и снятие переносных заземлений производятся каждый раз только по указанию руководителя испытаний одним и тем же членом бригады и выполняются в диэлектрических перчатках;
- провода, кабели, перемычки, которыми выполняются временные соединения при сборке испытательной схемы, должны четко отличаться от стационарных соединений электрооборудования;
- место испытаний, временные соединения, испытываемые цепи и аппараты должны быть ограждены и выставлен наблюдающий, двери помещений, в которых находятся противоположные концы испытываемых кабелей, должны быть заперты, на ограждениях и дверях должны быть вывешены плакаты: «Испытания, опасно для жизни». Если двери не заперты, должна быть выставлена охрана из членов бригады, имеющих II группу по электробезопасности.

Перед каждой подачей испытательного напряжения производитель работ должен:

- проверить правильность сборки схемы и надежность рабочих и защитных заземлений;
- проверить, все ли члены бригады и работники, назначенные для охраны, находятся на указанных им местах, удалены ли посторонние люди и можно ли подавать испытательное напряжение на оборудование;
- предупредить бригаду о подаче напряжения словами “Подаю напряжение” и, убедившись, что предупреждение услышано всеми членами бригады, снять заземление с вывода испытательной установки и подать на нее напряжение 380/220 В.

С момента снятия заземления с вывода установки вся испытательная установка, включая испытываемое оборудование и соединительные провода, должна считаться находящейся под напряжением и проводить какие-либо пересоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании не допускается.

После окончания испытаний производитель работ должен снизить напряжение испытательной установки до нуля, отключить ее от сети напряжением 380/220 В, заземлить вывод установки и сообщить об этом бригаде словами “Напряжение снято”. Только после этого допускается пере соединять провода или в случае полного окончания испытания отсоединять их от испытательной установки и снимать ограждения.

- Установка приборов и сборка испытательных схем должна выполняться на специальных столах достаточной прочности и с площадью, дающей возможность удобно и свободно их разместить.

- Провода, используемые для сборки временных испытательных схем, должны быть одножильными и многопроволочными с изоляцией, соответствующей напряжению цепей, и сечением, соответствующим пропускаемой величине тока, но не менее 4 кв.мм. Применение алюминиевых проводов не допускается.

- При сборке измерительных и испытательных схем, прежде всего, выполняются защитное

и рабочее заземление испытательных аппаратов. Заземление должно быть выполнено медным проводом сечением не менее 4 мм².

- Питание временных испытательных схем для проверок и испытаний должно выполняться через закрытый автомат и штепсельный разъем (разъемную муфту). Автомат служит для защиты от короткого замыкания и перегрузок, а разъем - для видимого разрыва. При снятии напряжения первым отключается автомат, затем разбирается разъем. При подаче напряжения собирается разъемное соединение при отключенном автомате, затем включается автомат.

- В электроустановках проверять отсутствие напряжения следует указателем напряжения только заводского изготовления, исправность которого перед применением должна быть установлена посредством предназначенных для этой цели специальных приборов или приближением к токоведущим частям, расположенным поблизости и заведомо находящимися под напряжением. В электроустановках напряжением выше 1000В пользоваться указателем напряжения необходимо в диэлектрических перчатках.

- Накладывать заземления на токоведущие части необходимо непосредственно после проверки отсутствия напряжения. Переносные заземления сначала нужно присоединить к земле, а затем, после проверки отсутствия напряжения, наложить на токоведущие части. Снимать

заземления следует в обратном наложении последовательности: с токоведущих частей, а затем от земли.

- Измерения мегаомметром и испытание повышенным напряжением разрешается выполнять обученным лицам электротехнического персонала.

6. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ И НАЛАДКИ.

6.1. Характеристики окружающей среды:

- Время года — в течение года.
- Время суток — с 8 до 17 часов.
- Температура — не ниже $+15^{\circ}\text{C}$.
- Влажность — до 70%.

Контрольные вопросы:

1. Отличие вентильного и трубчатого разрядников.
2. Назначение разрядников в схемах трансформаторных подстанций.
3. Перечислить условия приемки разрядников в эксплуатацию.

Содержание отчета:

1. Название и цель практической работы.
2. Начертить схему включения разрядников в трехфазную сеть.
3. Ответы на контрольные вопросы.
4. Заполнить таблицу:

Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания

Заполненная таблица для проверки обучающихся:

Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания
1. Проверка состояния поверхности разрядника.	Т, М	Наружная поверхность не должна иметь ожогов электрической дугой, трещин, расслоений и царапин, глубиной более 0,5мм по длине не более 1/3 расстояния между наконечниками.	-
2. Измерение диаметра дугогасительного канала разрядника	Т	Значение диаметра канала должно соответствовать данным табл.	Производится по длине внутреннего искрового промежутка.
3. Измерение внутреннего искрового промежутка.	Т	Длина внутреннего искрового промежутка должна соответствовать данным табл.	-
4. Измерение внешнего искрового промежутка.	Т, М	Длина внешнего искрового промежутка должна соответствовать данным табл.	-
5. Проверка расположения зон выхлопа.	Т, М	Зоны выхлопа разрядников разных фаз не должны пересекаться, и в них не должны находиться элементы	В случае заземления выхлопных обойм разрядников допускается пересечение их зон

		конструкций и провода ВЛ.	выхлопа.
--	--	------------------------------	----------

Практическая работа

Тема: Проверка коэффициента трансформации силового трансформатора.

Цель работы: Изучить схемы проверки трансформации силового трансформатора в соответствии с паспортными данными.

Методическая часть практической работы:

Коэффициент трансформации силовых трансформаторов определяют для проверки соответствия паспортным данным и правильности подсоединения ответвлений обмоток к переключателю. Проверка производится на всех ступенях переключения. Коэффициент трансформации должен отличаться не более чем на 2% от значений, полученных на том же ответвлении на других фазах, или от данных завода-изготовителя. Для трансформаторов с РПН разница между коэффициентом трансформации не должна превышать значения ступени регулирования.

Из предусмотренных ГОСТ-3484-77 методов определения коэффициента трансформации в практике наладочных работ используется метод двух вольтметров. По этому методу к одной из обмоток трансформатора подводится напряжение и двумя вольтметрами одновременно измеряется подводимое напряжение и напряжение на другой обмотке трансформатора. Подводимое напряжение не должно превышать номинальное и в то же время должно составлять не менее 1% номинального напряжения. Для трехфазных трансформаторов измерения можно проводить при трехфазном и однофазном возбуждении.

При испытаниях трехфазных трансформаторов измеряют линейные напряжения на одноименных зажимах обеих обмоток. Если возможно измерить фазные напряжения, то коэффициент трансформации можно определить по фазным напряжениям одноименных фаз. При однофазном возбуждении трансформатора с соединением обмоток звезда-треугольник

коэффициент трансформации измеряют с поочередным закорачиванием одной из фаз, соединенных в треугольник. Измерения проводятся на свободной паре фаз. Коэффициент трансформации определяется по формулам

$$k_{1\phi} = \frac{U_{AB}}{2 \cdot U_{ab}}, \quad k_{2\phi} = \frac{U_{BC}}{2 \cdot U_{bc}}, \quad k_{3\phi} = \frac{U_{AC}}{2 \cdot U_{ac}},$$

где $k_{1\phi}, k_{2\phi}, k_{3\phi}$ фазные коэффициенты трансформации; $U_{AB}, U_{BC}, U_{AC}, U_{ab}, U_{bc}, U_{ac}$ - измеренные напряжения на обеих обмотках трансформатора.

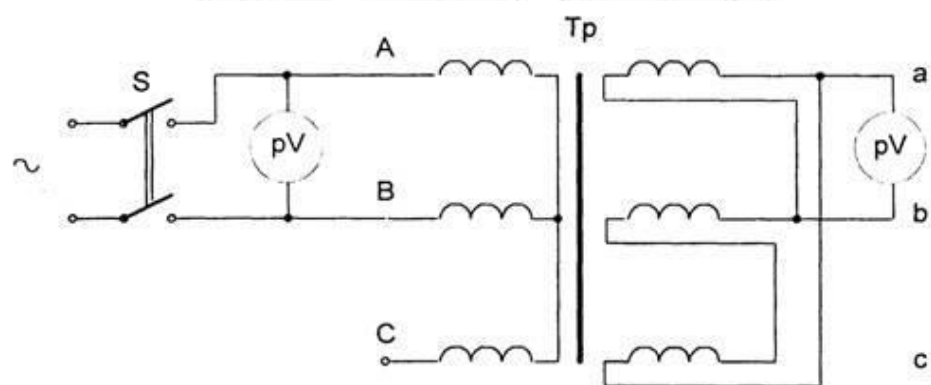
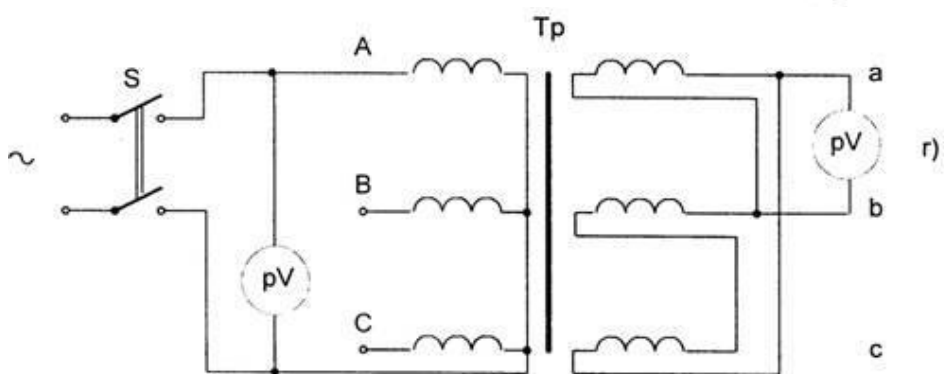
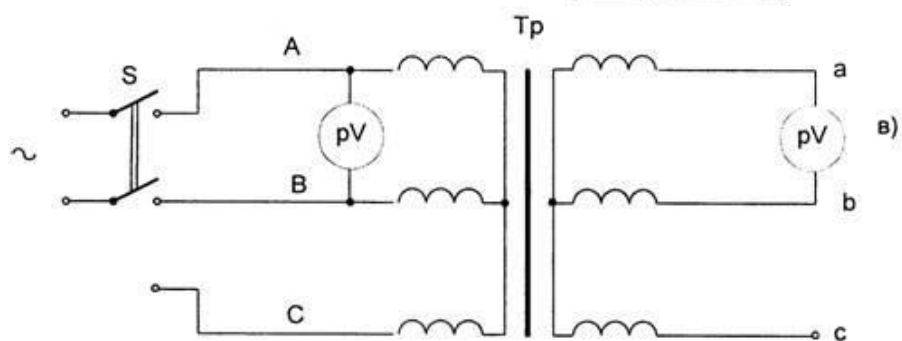
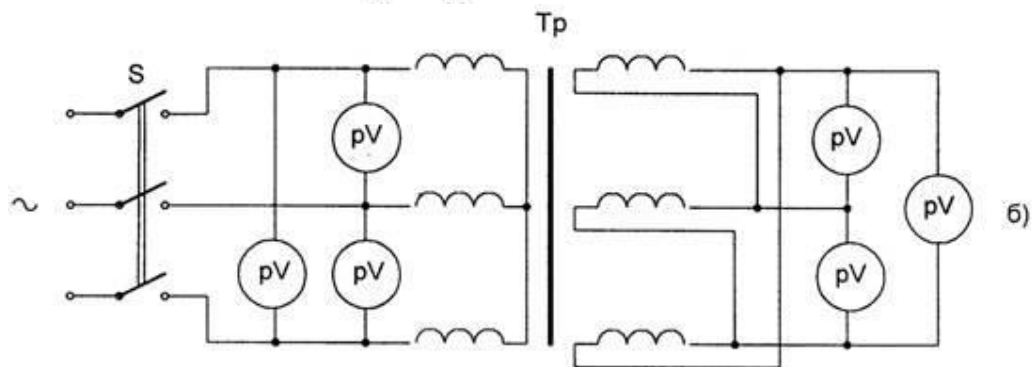
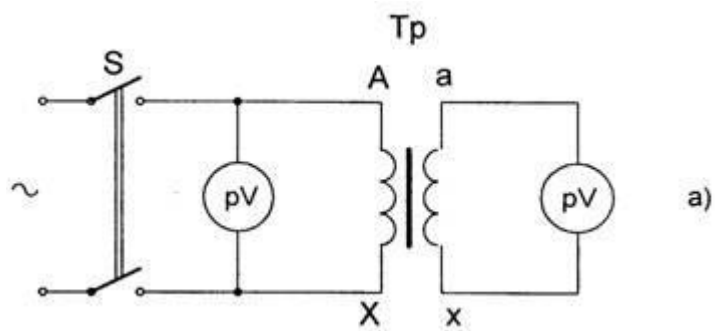
Переход к линейному коэффициенту трансформации осуществляется по формуле

$$k_n = \sqrt{3} \cdot k_{\phi}.$$

При однофазном возбуждении трансформатора с соединением обмоток звезда с нулевым выводом - треугольник напряжение подводится поочередно к каждой фазе, при этом не нужно закорачивать фазы. В этом случае определяется фазный коэффициент трансформации

$$k_{1\phi} = \frac{U_{A0}}{2 \cdot U_{ab}}, \quad k_{2\phi} = \frac{U_{B0}}{2 \cdot U_{bc}}, \quad k_{3\phi} = \frac{U_{A0}}{2 \cdot U_{ac}}.$$

Схемы измерения коэффициентов трансформации однофазных трансформаторов и трехфазных с различными схемами соединения обмоток приведены на рис. 1. Коэффициент трансформации находят для всех ответвлений обмоток и всех фаз. При испытаниях трехобмоточных трансформаторов достаточно определить коэффициент трансформации для двух пар обмоток.



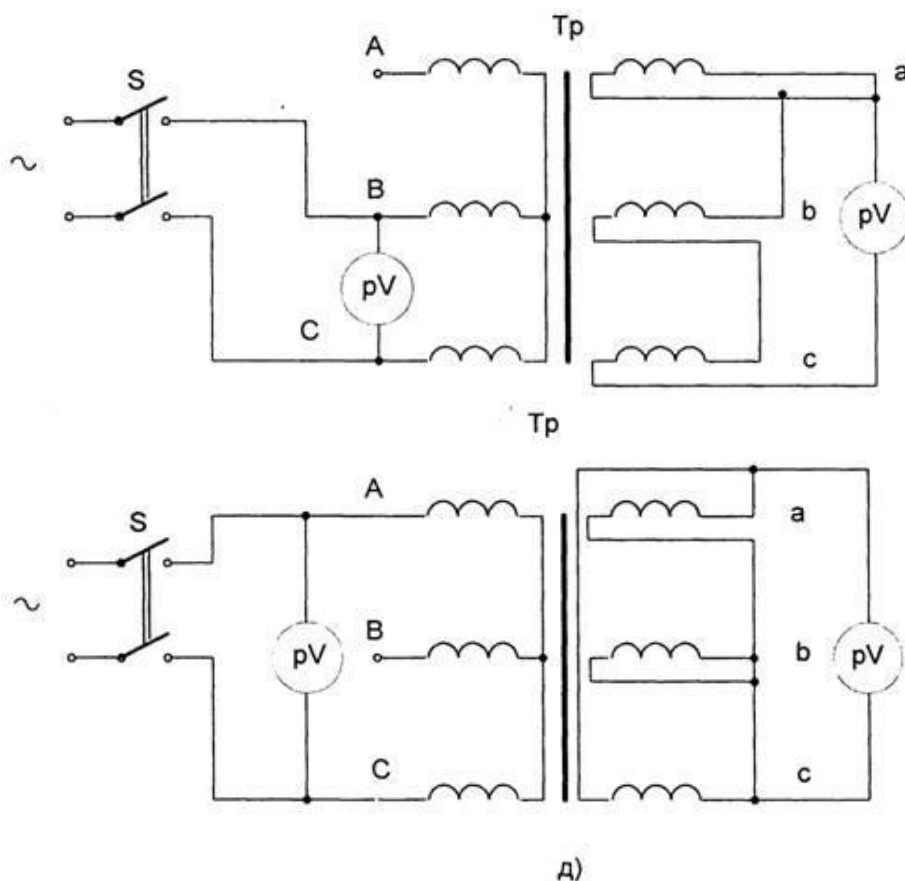


Рис. 1. Схемы измерения коэффициента трансформации силовых трансформаторов.

а - однофазных; б - трехфазных по трехфазной схеме возбуждения; в - трехфазных с соединением обмоток Y/Y по однофазной схеме возбуждения; г - трехфазных с соединением обмоток Y/Δ по однофазной схеме возбуждения; д - трехфазных с соединением обмоток Y/Δ , по однофазной схеме возбуждения.

Контрольные вопросы:

1. Показать формулу коэффициента трансформации и определить его для подстанции 10/0,4 кВ.
2. Для чего определяют коэффициент трансформации.

Содержание отчета:

1. Название и цель практической работы.

2. Начертить схемы подключения измерительных вольтметров для определения коэффициента трансформации.
3. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа

Тема: Проверка группы соединений и полярности выводов трехфазного трансформатора.

Цель работы: Изучить схемы определения соединения обмоток силового трансформатора.

Методическая часть практической работы:

Группа соединения обмоток трансформатора характеризует угловое смещение векторов линейных напряжений обмотки НН относительно векторов линейных напряжений обмотки ВН. Проверка производится при монтаже, если отсутствуют паспортные данные или есть сомнения в

достоверности этих данных. Группа соединений должна соответствовать паспортным данным и обозначениям на щитке. Проверить группу соединений обмоток трансформатора можно одним из следующих методов:

- двух вольтметров,
- фазометра (прямой метод),
- постоянного тока.

Наибольшее распространение получил метод постоянного тока.

Метод постоянного тока. К одной паре зажимов обмотки ВН, например к зажимам "А-С", подключают кратковременно источник постоянного тока (аккумулятор) напряжением 2-12 В, а к зажимам обмотки НН "а-в", "в-с", "а-с" поочередно подключают магнитоэлектрический вольтметр (гальванометр) и определяют полярность выводов.

Для определения полярности необходимо произвести девять измерений для трех случаев питания обмотки ВН: "А-В", "В-С", "С-А". При этом надо определить отклонение стрелки прибора, подключенного поочередно к выводам НН: "а-в", "в-с", "с-а" (первая буква указывает, что к ней должен быть присоединен "плюс" батареи или прибора). Отклонение стрелки гальванометра вправо обозначается знаком плюс, влево - минус. Полученные результаты сравнивают с данными, приведенными в табл. 1. При сборке схемы следует строго следить за тем, чтобы подключение батареи и гальванометра к зажимам трансформатора было выполнено по признакам полярности (см. рис. 1).

Аналогичный метод используется для однофазных трансформаторов, а также для трехфазных - при выведенной нулевой точке обмоток и при соединении обмоток Δ/Δ , когда соединение в треугольник выполняется вне бака трансформатора. Группу соединений определяют по схеме рис. 2. путем поочередной проверки полярности зажимов "А-Х" и "а-х" магнитоэлектрическим вольтметром (нулевым гальванометром) при подведении к зажимам "А-Х" напряжения постоянного тока 2 - 12 В. Полярность зажимов "А-Х" устанавливают при включении тока. После проверки полярности зажимов "А-Х" вольтметр отсоединяют, не отсоединяя питающего провода, и присоединяют его к зажимам "а-х". Полярность зажимов "а-х" определяют в момент включения и отключения тока. Если полярность зажимов "а-х" при включении тока совпадает с полярностью зажимов "А-Х", а при отключении - противоположна, то трансформатор имеет группу соединения 0, в противном случае - группу соединения б.

Желательно, чтобы гальванометр имел нуль посередине шкалы. Можно пользоваться прибором, имеющим нуль с краю шкалы, но при этом необходимо стрелку сдвинуть с нуля поворотом корректора.

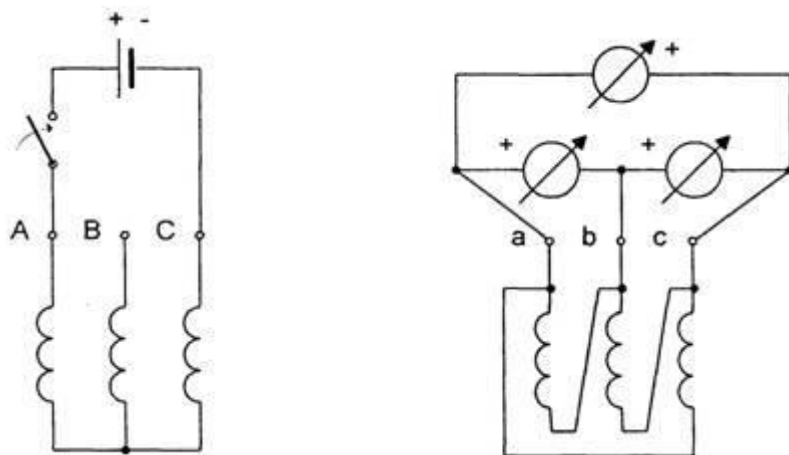


Рис. 1. Схема проверки группы соединения обмоток трехфазных трансформаторов методом импульсов постоянного тока.

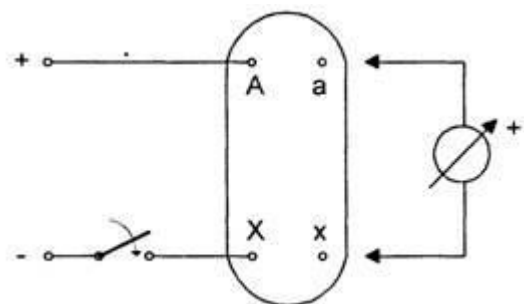


Рис. 2. Схема проверки группы соединения обмоток однофазных трансформаторов методом импульсов постоянного тока.

При возникновении сомнения в правильности обозначения зажимов гальванометра, их полярность можно установить, подключив к гальванометру через большое сопротивление элемент батареи. Плюсовым зажимом гальванометра будет тот, при подключении к которому плюса элемента стрелка гальванометра отклонится вправо. При отсутствии на месте измерения сопротивления достаточной величины, гальванометр можно загрубить путем его шунтирования медным проводом диаметром 0,1 – 0,5 мм. Следует иметь в виду, что отсчет отклонения стрелки прибора на выводах НН необходимо производить в момент замыкания выводов обмотки ВН на батарею. В противном случае это приведет к ошибочным данным (в момент размыкания цепи батареи показания прибора на стороне НН будут обратными). Результаты опыта сводятся в таблицу, в которой отклонение стрелки вправо отмечается знаком плюс (+), влево – знаком минус (-), а

отсутствие отклонения - нулем (0). Табл. 1 составлена при условии, что плюсовой вывод источника тока и плюсовой зажим гальванометра подключаются к зажиму, обозначенному в таблице первым. Так, например, при определении отклонения стрелки гальванометра, подключенного к зажимам "с-а", при подаче питания на зажим "А-В" "плюс" гальванометра должен быть подключен к зажиму "с" трансформатора, а "Плюс" источника питания к зажиму "А" трансформатора.

Таблица 1. Показания гальванометра при определении группы соединения обмоток трехфазных трансформаторов

Питание подведено к зажимам	Отклонение стрелки гальванометра, присоединенного к зажимам								
	ab	bc	ca	ab	bc	ca	ab	bc	ca
	для группы 0			для группы 4			для группы 8		
AB	+	-	-	-	-	+	-	+	-
BC	-	+	-	+	-	-	-	-	+
CA	-	-	+	-	+	-	+	-	-
	для группы 6			для группы 10			для группы 2		
AB	-	+	+	+	+	-	+	-	+
BC	+	-	+	-	+	+	+	+	-
CA	+	+	-	+	-	+	-	+	+
	для группы 11			для группы 3			для группы 7		
AB	+	0	-	0	-	+	-	+	0
BC		+	0	+	0	-	0	-	+
CA	0	-	+	-	+	0	+	0	-
	для группы 1			для группы 5			для группы 9		
AB	+	-	0	-	0	+	0	+	-
BC	0	+	-	+	-	0	-	0	+
CA	-	0	+	0	+	-	+	-	0

Прямой метод (фазометром). Последовательную обмотку однофазного фазометра через реостат подключают к зажимам одной из обмоток, а параллельную обмотку - к одноименным зажимам другой обмотки испытуемого трансформатора. К одной из обмоток трансформатора подводят напряжение, достаточное для нормальной работы фазометра. По измеренному углу определяют группу соединений обмоток. При определении группы соединений трехфазных трансформаторов проводят не менее двух измерений (для двух пар соответствующих линейных зажимов трансформатора). Схема проверки представлена на рис. 3.

Метод двух вольтметров. При проверке группы соединения этим методом соединяют зажимы "А" и "а" испытываемого трансформатора подводят к одной из обмоток напряжение и измеряют последовательно напряжения между зажимами "Х-х" при испытании однофазных трансформаторов и между зажимами "в-В", "в-с" и "с-В" при испытании трехфазных трансформаторов. Измеренные напряжения (см. рис. 4) сравнивают с вычисленными по формулам табл. 2.

Измерение тока и потерь холостого хода

В соответствии с требованиями ПУЭ производится одно из измерений:
а) при номинальном напряжении. Измеряется ток холостого хода. Значение тока не нормируется;

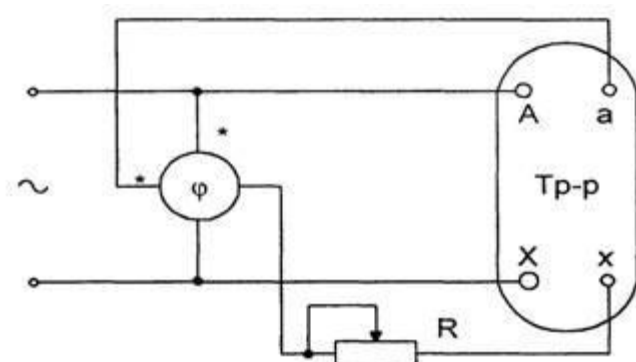


Рис. 3. Схема проверки группы соединения обмоток силового трансформатора методом фазометра.

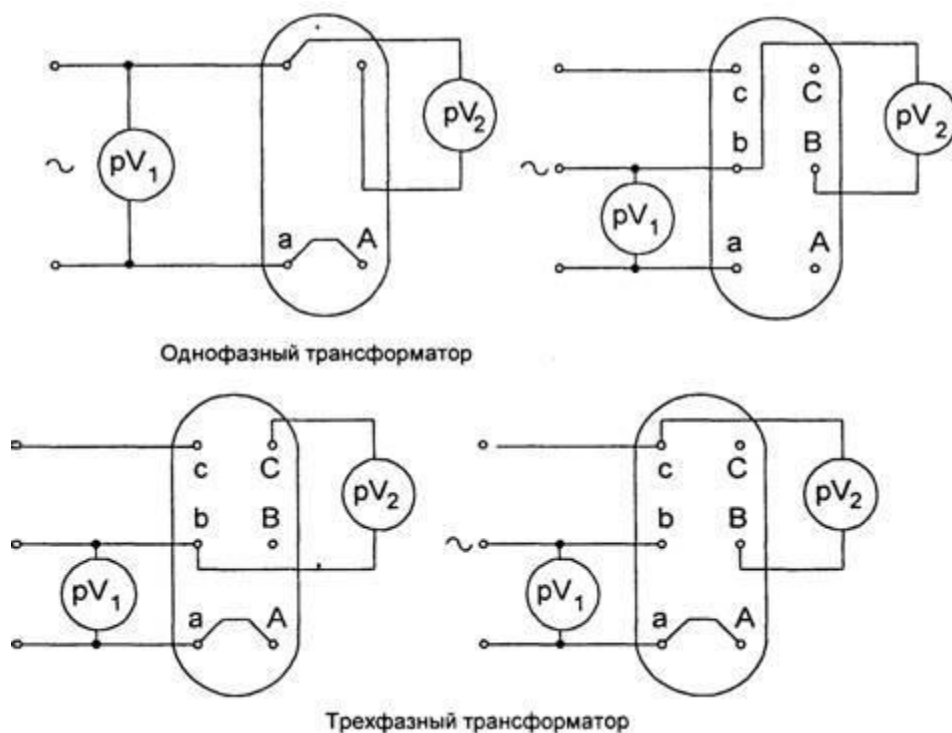


Рис. 4. Схемы проверки группы соединения обмоток силовых трансформаторов методом двух вольтметров.

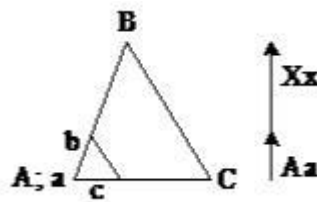
б) при малом напряжении. Измерение производится с приведением потерь к номинальному напряжению или без приведения (метод сравнения). Опытом холостого хода трансформатора называется включение одной из его обмоток (обычно низкого напряжения) под номинальное напряжение. Потребляемый при этом ток называют током холостого хода I_{xx} (обычно выражают в % от $I_{ном}$).

Таблица 2. Векторные диаграммы и расчетные формулы для определения группы соединения силовых трансформаторов

Группа соединения	Угловое смещение ЭДС, 0	Возможное соединение обмоток и векторная диаграмма линейных ЭДС	$U_b - B(U_{X-} X)$	$U_b - C$	$U_c - B$	Номер формулы
		YY; ΔΔ; ΔZ				
0	0		1	2	2	

YΔ; YΔ; ΔZ

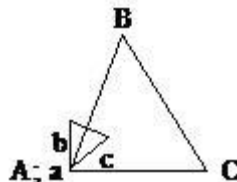
1 30



3 3 4

YΔ; ΔY; YZ

11 330



3 4 3

Примечание: Формулы табл. 2.

$$1) U_2 \cdot (K_L - 1); 2) U_2 \cdot \sqrt{1 - K_L + K_L^2}; 3) U_2 \cdot \sqrt{1 - \sqrt{3} \cdot K_L + K_L^2}; 4) U_2 \cdot \sqrt{1 + K_L^2},$$

где U_2 — и K_L соответственно линейное напряжение на зажимах обмотки низшего напряжения и линейный коэффициент трансформации.

$$I_{xx} = \frac{I_{изм}}{I_{ном}}, \%$$

Потребляемую при этом активную мощность называют потерями холостого хода P_{xx} (кВт). Эта мощность расходуется, в основном, на перемагничивание электротехнической стали (потери на гистерезисе) и на вихревые токи. Ток и потери холостого хода являются паспортными данными силовых трансформаторов.

Потери холостого хода трансформаторов P_{xx} , измеренные при нормальной частоте и весьма малом возбуждении (порядка нескольких процентов от номинального напряжения трансформатора), можно пересчитать к потерям холостого хода при номинальном напряжении по формуле

$$P_{xx} = P'_{xx} \cdot \left(\frac{U_{ном}}{U'} \right)^n,$$

где $P'_{xx} = P_{изм} - P_{пр}$ — потери, измеренные при подводимом при измерении напряжении (возбуждении) U ;

$P_{пр}$ и $P_{изм}$ — соответственно мощность, потребляемая приборами и суммарные потери в трансформаторе и приборах.

n - показатель степени, равный для горячекатаной стали 1,8; для холоднокатаной стали - 1,9.

Заводы-изготовители производят измерения потерь холостого хода при номинальном напряжении и при малом (обычно 380 В) напряжении. Измерение потерь холостого хода может быть произведено также при напряжении, равном 5 - 10% номинального. Отличие полученных значений потерь от заводских данных должно быть не более 10% для однофазных и не более 5% для трехфазных. Измерение потерь холостого хода производится при напряжении и по схемам, указанным в протоколе испытания завода-изготовителя. Если завод-изготовитель производил измерения потерь холостого хода только при номинальном напряжении трансформатора, то следует измерение потерь холостого хода произвести при напряжении 380 В и выполнить пересчет их к номинальному напряжению по формуле, указанной выше. В дальнейшем измерение потерь холостого хода следует производить при напряжениях 380 В. У исправных трехфазных трехстержневых трансформаторов соотношение потерь, как правило, не отличается от соотношений, полученных на заводе-изготовителе, более, чем на 5%.

Для трансформаторов, имеющих переключающее устройство с токоограничивающим реактором, дополнительно производится опыт холостого хода на промежуточном положении "Мост". Измерение потерь холостого хода при напряжении 380 В следует производить до измерения сопротивления обмоток постоянному току и прогрева трансформатора постоянным током. При измерении потерь и тока холостого хода следует применять измерительные приборы класса точности 0,5. Для измерений могут использоваться переносные измерительные комплекты типа К-50 (К-51). При измерении потерь и тока холостого хода при номинальном напряжении обмоток выше 0,4 кВ рекомендуется применять измерительные трансформаторы класса точности 0,2.

Потери холостого хода трехфазных трехстержневых трансформаторов измеряют при трехфазном или однофазном возбуждении. При трехфазном возбуждении измерения производят двумя однофазными ваттметрами или одним трехфазным ваттметром (см. рис. 5). Измеренные потери определяются как алгебраическая сумма потерь, измеренных каждым ваттметром. Потери в трансформаторе определяют как разность измеренных суммарных потерь и потерь в приборах (см. рис. 6), поскольку потери в приборах могут быть соизмеримы с потерями холостого хода.

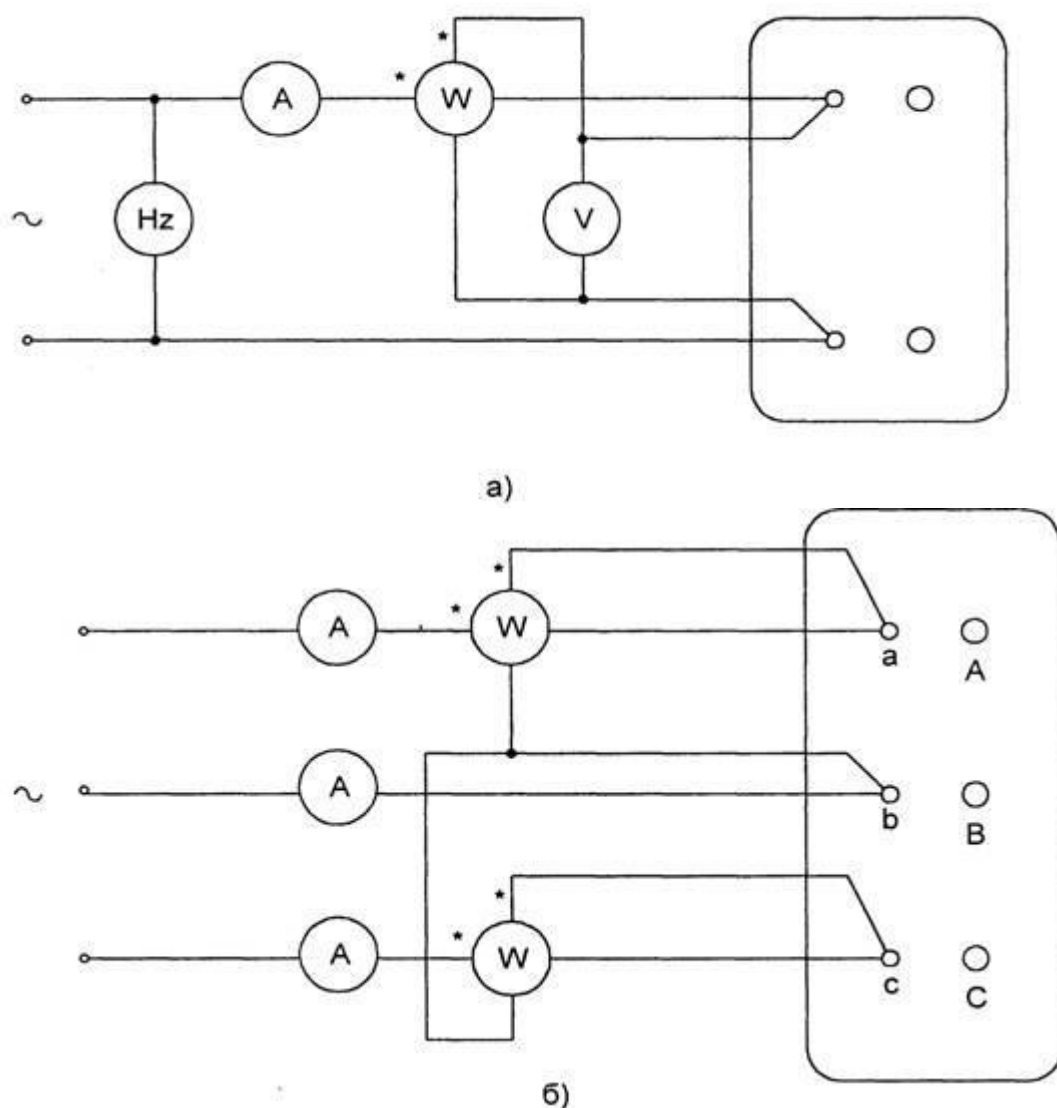


Рис. 5. Схемы включения приборов при проведении опыта холостого хода силовых трансформаторов.
а - для однофазных трансформаторов; б - для трехфазных трансформаторов.

Ток холостого хода трансформатора определяют как среднеарифметическое значение токов трех фаз. При измерении потерь холостого хода при однофазном возбуждении напряжением 380 В проводят три опыта с приведением трехфазного трансформатора к однофазному путем поочередного замыкания накоротко одной из его фаз и возбуждении двух других фаз.

Первый опыт - замыкают накоротко обмотку фазы А, возбуждают фазы В и С трансформатора и измеряют потери.

Второй опыт - замыкают накоротко обмотку фазы В, возбуждают фазы А и С трансформатора и измеряют потери.

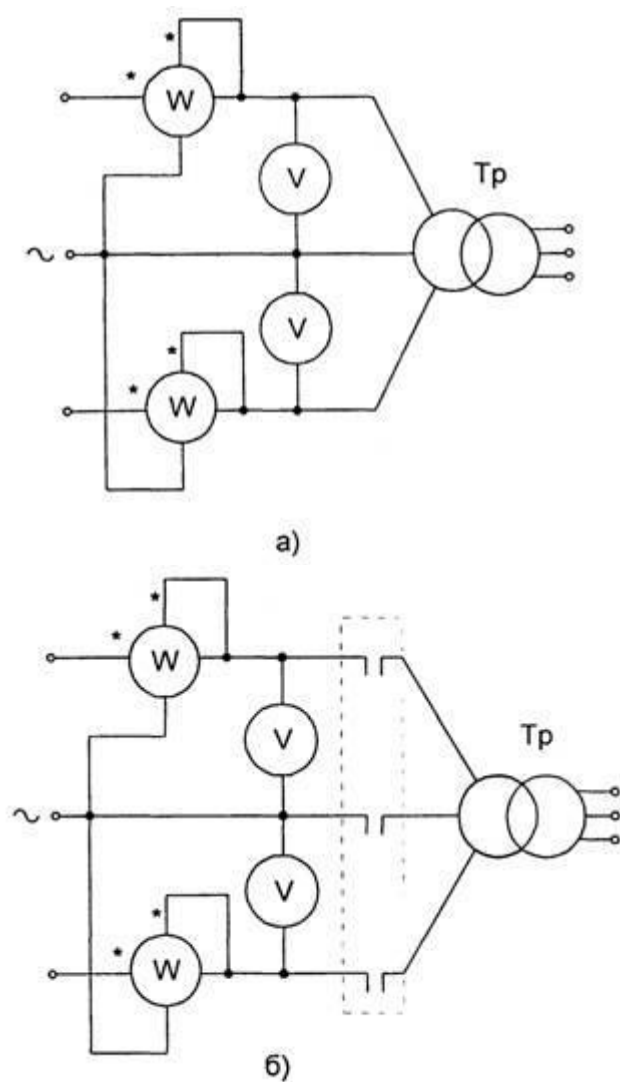
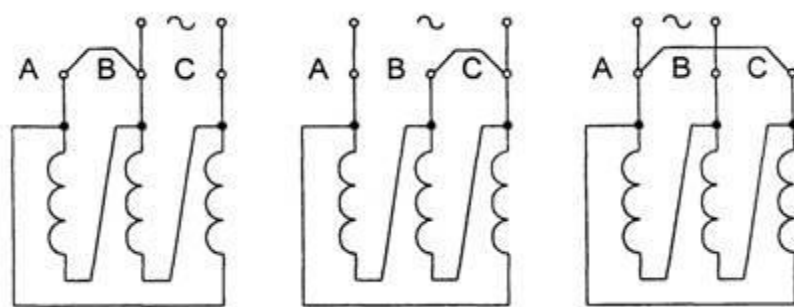
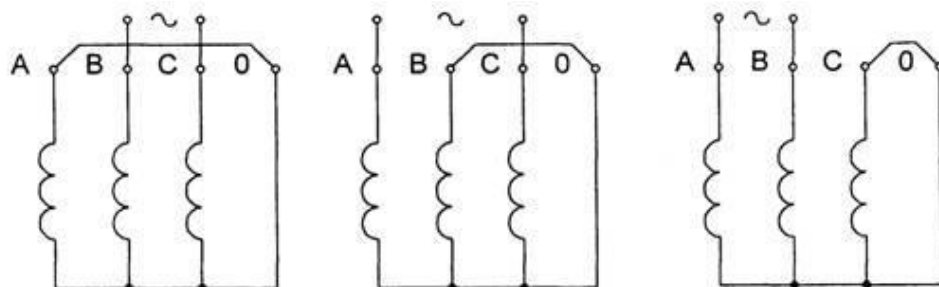


Рис. 6. Схемы измерения потерь холостого хода в трехфазных трансформаторах.
а - для измерения суммарных потерь; б - для измерения потерь в приборах.



Соединение первичной обмотки в треугольник

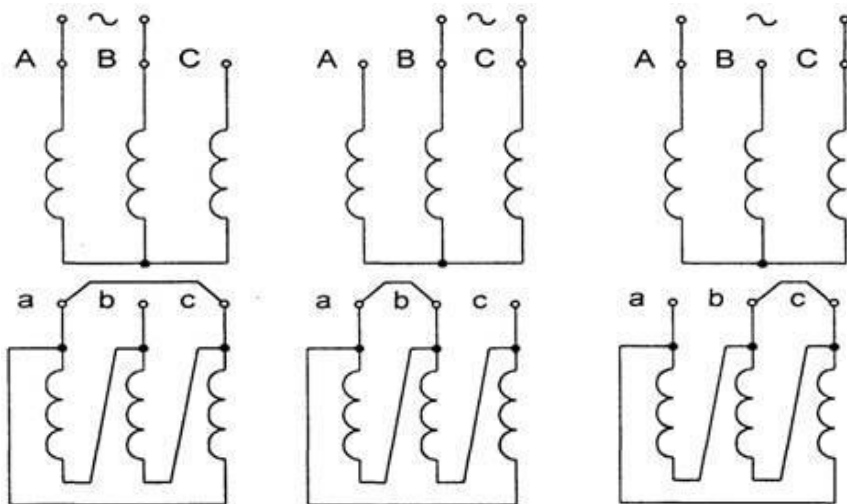


Соединение первичной обмотки в звезду с выведенной нулевой точкой

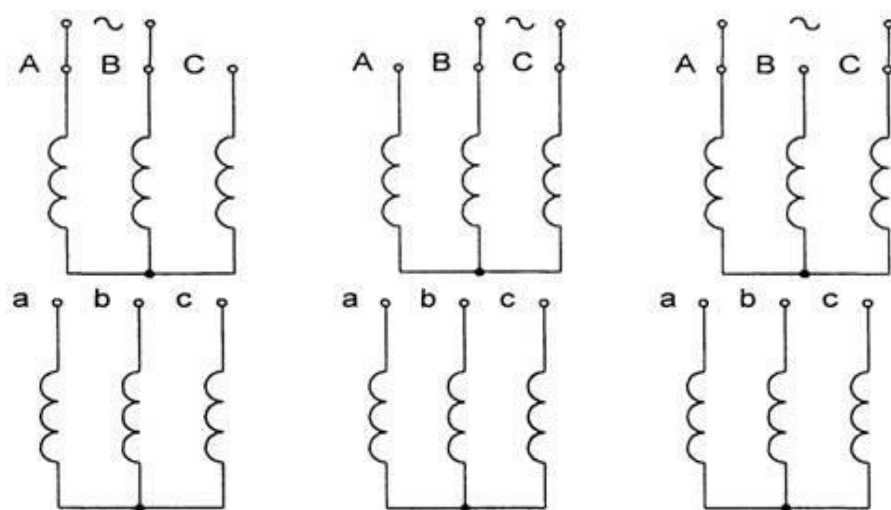
Группа соединения $Y0/\Delta$.

Рис. 7.а. Схемы возбуждения трехфазных трансформаторов

Третий опыт - замыкают накоротко обмотку фазы С, возбуждают фазы А и В трансформатора и измеряют потери.



Группа соединения Y/Δ



Группа соединения Y/Y
 Рис. 8. Схемы однофазного возбуждения трехфазных трансформаторов

Контрольные вопросы:

1. Пояснить методы определения групп соединения обмоток силового трехфазного трансформатора на схемах.
2. Показать возможные варианты маркировки масляных трансформаторов с учетом групп соединений обмоток.

Содержание отчета:

1. Название и цель практической работы.
2. Начертить схемы определения групп соединения обмоток силовых трансформаторов.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Виды испытаний и
проверок

1. Визуальный осмотр
2. Измерение сопротивления изоляции обмоток
3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току
4. Измерение сопротивления нулевой последовательности
5. Проверка работы переключающего устройства
6. Проверка коэффициента трансформации
7. Измерение тока и потерь холостого хода
8. Проверка напряжения и потерь короткого замыкания
9. Испытание бака трансформатора на герметичность
10. Испытание на нагрев
11. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты:
12. Испытание включением толчком на номинальное напряжение

Визуальный осмотр

При визуальном осмотре трансформаторов проверяется :

- наличие пломб , предусмотренных заводом-изготовителем;
- уровень масла;

- отсутствие механических повреждений бака, гофр, прутка, изоляторов и шпилек вводов;
- отсутствие течи масла;
- отсутствие незатянутых болтовых соединений;
- температура верхних слоев масла по термометру;
- отсутствие внутреннего избыточного давления в трансформаторе по показаниям мановакуумметра (при его установке) или по состоянию гофр (для трансформаторов типа ТМГ).

Измерение сопротивления изоляции обмоток

Измерение сопротивления изоляции обмоток трансформатора выполняется при помощи мегаомметра на напряжение 2500 В при температуре не ниже $+10^{\circ}\text{C}$.

Характеристики изоляции измеряются по схемам и в последовательности, указанным ниже: НН – ВН + Бак; ВН – НН + Бак; ВН + НН – Бак

При измерении все выводы обмоток одного напряжения соединяют вместе, остальные обмотки и бак трансформатора должны быть заземлены. Перед началом измерения все обмотки должны быть заземлены не менее чем на 5 минут, а между отдельными измерениями не менее чем на 2 минуты. При измерении сопротивления изоляции отсчет проводят дважды: через 15 с и через 60 с после появления на трансформаторе напряжения, при котором проводят измерение.

Дополнительным критерием оценки состояния изоляции является коэффициент абсорбции, который рассчитывают по формуле: $K_{аб} = R_{60}/R_{15}$, где R_{60} и R_{15} – сопротивления изоляции, измеренные через 60 с и 15 с после появления на объекте напряжения, при котором проводили измерения. Если коэффициент абсорбции $K_{аб} > 1,3$, то трансформатор по сопротивлению изоляции считается годным к работе.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

Измерение производится на всех ответвлениях обмоток, если в паспорте трансформатора нет других указаний. Измеряются линейные сопротивления, при наличии нулевого вывода измеряют также одно из фазных сопротивлений (между зажимом нейтрали и на одном из линейных зажимов). В такой схеме допускается измерять только фазные сопротивления, но при условии, что сопротивление отвода нейтрали не превышает 2% фазного сопротивления обмотки. Установившимся показанием прибора следует считать показание, которое изменяется не более чем на 1 % отсчитанного значения в течение не менее 30 с.

Сопротивления обмоток трехфазных трансформаторов, измеренные на одинаковых ответвлениях разных фаз при одинаковой температуре, не должны отличаться более чем на 2%.

Измерение сопротивления нулевой последовательности

Сопротивление нулевой последовательности измеряют при номинальной частоте (допустимое отклонение в пределах $\pm 1\%$) на основном ответвлении. Сопротивление измеряется между соединенными вместе тремя линейными зажимами обмотки и выведенным зажимом нейтрали.

Ток при измерении не должен превышать расчетного тока нейтрали. Подведенное напряжение не должно превышать напряжения между линией и нейтралью при нормальной работе трансформатора. Измеренное сопротивление нулевой последовательности, выраженное в Ом и приведенное к одной фазе, рассчитывают по формуле: $Z_0 = 3U/I$, где U – подведенное напряжение, В, I – общий ток трех фазных обмоток, А

Проверка переключающего устройства типа ПБВ

Для оценки правильности работы переключающего устройства типа ПБВ измеряются сопротивления постоянному току регулируемой обмотки при всех положениях переключателя и проверяется коэффициент трансформации. Измерение сопротивления постоянному току производится методом "амперметра-вольтметра" или мостовым методом. Наибольшее сопротивление регулируемой обмотки трансформатора имеет место в положении 1 переключателя (наибольшего коэффициента трансформации), а наименьшее в положении V (наименьшего коэффициента трансформации).

Проверка коэффициента трансформации

Коэффициент трансформации силовых трансформаторов определяют для проверки соответствия паспортным данным и правильности подсоединения ответвлений обмоток к переключателям.

Определение коэффициента производится методом «двух вольтметров». По этому методу к одной из обмоток трансформатора подводится напряжение, и двумя вольтметрами одновременно измеряется подводимое напряжение и напряжение на другой обмотке трансформатора. Подводимое напряжение не должно превышать номинальное и в тоже время должно составлять не менее 1% номинального напряжения.

Испытания трехфазных трансформаторов допустимо производить при трехфазном и однофазном возбуждении. При этом измеряют линейные напряжения на одноименных зажимах обеих обмоток.

Коэффициент трансформации определяют для всех ответвлений обмоток и всех фаз, и не должен отличаться более чем на 2 % от значений, указанных в паспорте трансформатора для каждого положения переключателя.

Измерение потерь холостого хода

Для условий эксплуатации опыт холостого хода (ХХ) при малом напряжении является основным способом измерения тока и потерь холостого хода. Измерения потерь ХХ трансформаторов при вводе их в эксплуатацию и в процессе эксплуатации производятся с целью выявления возможных витковых замыканий, замыканий в элементах магнитопровода и замыканий магнитопровода на бак трансформатора. Опыты ХХ рекомендуется проводить при малом напряжении 380/220 В. При этом напряжение подается на обмотку НН, а другие обмотки остаются свободными. Предпочтительно обмотки возбуждать линейным напряжением 380 В, так как фазное напряжение сети может иметь значительное отклонение от синусоидальной формы кривой, что приведет к искажению результатов измерений. Перед проведением опыта ХХ трансформатора, находящегося в эксплуатации, необходимо размагнитить его магнитопровод от остаточного намагничивания, возникающего вследствие внезапного сброса питающего напряжения (отключение трансформатора от сети) и обрыва тока при его переходе не через нуль. Снятие остаточного намагничивания производится пропусканием постоянного тока противоположных полярностей по одной из обмоток каждого стержня магнитопровода трансформатора. Процесс размагничивания осуществляется в несколько циклов. В первом цикле ток размагничивания должен быть не менее удвоенного тока ХХ трансформатора при номинальном напряжении в каждом последующем цикле ток размагничивания должен примерно на 30 % быть меньше тока предыдущего цикла. В последнем цикле ток размагничивания не должен быть больше тока ХХ трансформатора при напряжении 380 В. В качестве источника постоянного тока могут использоваться переносные аккумуляторы, выпрямительные устройства.

При вводе в эксплуатацию нового трансформатора снятие остаточного намагничивания может не производиться, если трансформатор не прогревался постоянным током и измерению тока и потерь ХХ не предшествовало измерение сопротивления обмоток постоянному току. При пусконаладочных испытаниях опыт ХХ следует проводить перед началом других видов испытаний.

В соответствии с требованиями ПУЭ производится одно из измерений:

- а) при номинальном напряжении. Измеряется ток холостого хода. Значение тока не нормируется;
- б) при малом напряжении. Измерение производится с приведением потерь к номинальному напряжению или без приведения (метод сравнения).

Опытом холостого хода трансформатора называется включение одной из его обмоток (обычно низкого напряжения) под номинальное напряжение. Потребляемый при этом ток называют током холостого хода I_{xx} (обычно выражают в % от $I_{ном}$). Потребляемую при этом активную мощность называют потерями холостого хода P_{xx} (кВт). Эта мощность расходуется, в основном, на перемагничивание электротехнической стали (потери на

гистерезисе) и на вихревые токи. Ток и потери холостого хода являются паспортными данными силовых трансформаторов.

Измерения проводят в соответствии с рис. 1

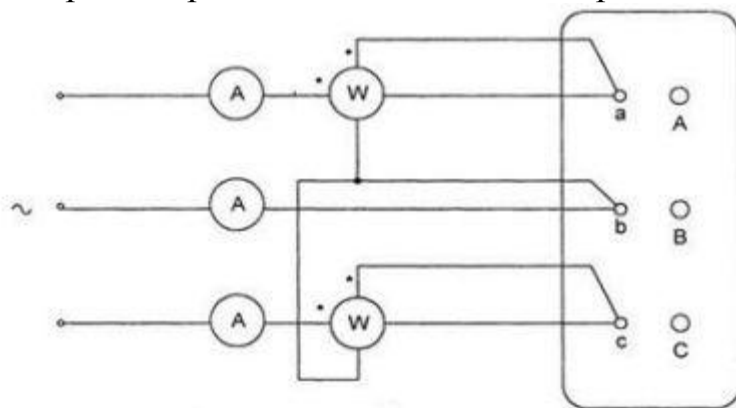


Рис. 1

При опыте холостого хода к обмоткам НН (ВН) трансформатора при разомкнутых обмотках ВН (НН) подводят номинальное напряжение (с допустимым отклонением в пределах 0,5 %), номинальной частоты (с допустимым отклонением в пределах 1 %), практически синусоидальной формы и практически симметричное.

Проверка потерь и напряжения короткого замыкания

Измерение потерь и напряжения короткого замыкания на основном ответвлении производится в соответствии с рис. Опыт короткого замыкания выполняют для каждой пары обмоток.

Одну обмотку НН замыкают накоротко, а обмотку ВН питают номинальным током от источника переменного тока номинальной частоты, остальные обмотки разомкнуты. Для замыкания обмотки накоротко применяют возможно более короткие проводники, имеющие примерно такое же сечение, как и сечение токоведущих зажимов замыкаемой накоротко обмотки. Опыт короткого замыкания проводят при токе от $\frac{1}{4}$ номинального до номинального. При опыте короткого замыкания ток и напряжение определяют как среднее арифметическое показание приборов всех трех фаз. Если несимметрия токов и напряжений не превышает 2%, то при испытаниях трансформаторов за значение тока при опыте короткого замыкания допускается принимать величину тока, устанавливаемого в одной из фаз, за значение напряжения – значение того из трех измеренных напряжений, величина которого наиболее близка к среднему арифметическому значению напряжения.

Испытание бака трансформатора на герметичность

Под герметичностью бака трансформатора следует понимать его свойство препятствовать прониканию наружу теплоносителя (охлаждающей среды) и изолирующей среды. Продолжительность испытания,

нормированное избыточное давление, температура охлаждающей и изолирующей сред должны быть указаны в стандартах (технических условиях) на трансформаторы конкретных типов.

Испытание производится:

- у трансформаторов напряжением до 35кВ включительно – гидравлическим давлением столба масла, высота которого над уровнем заполненного расширителя составляет 0,6 метра, за исключением трансформаторов с волнистыми баками и пластинчатыми радиаторами, для которых высота столба масла принимается равной 0,3 метра;
- у трансформаторов с плёночной защитой масла – созданием внутри гибкой оболочки избыточного давления воздуха 10кПа;
- у остальных трансформаторов – созданием избыточного давления азота или сухого воздуха 10кПа в надмасляном пространстве расширителя.

Продолжительность испытания во всех случаях – не менее 3 часов.

Температура масла в баке при испытаниях трансформаторов напряжением до 150кВ включительно – не ниже 10°C, остальных – не ниже 20°C.

Результаты испытания трансформатора считаются удовлетворительными, если осмотром после испытания течь масла не обнаружена

Испытание на нагрев

Испытания на нагрев проводят при номинальных условиях нагрузки трансформатора. За номинальные условия принимают такие условия, при которых потери в токоведущих частях и добавочные потери, обусловленные потоками рассеяния, равны установленным стандартами (техническими условиями) потерям КЗ, а потери в стали и соответствующие добавочные потери равны нормализованным стандартами потерям холостого хода ХХ (без допуска).

Наибольшие превышения температуры над температурой окружающей среды при сколь угодно длительно поддерживаемых во время испытаний номинальных условиях нагрузки должны не превосходить следующих значений:

- для магнитопровода на его поверхности – 75°C;
- для обмотки с изоляцией класса А – 65°C;
- для масла (для сведения) – 55°C.

Нагрев трансформаторов может быть произведен следующими методами:

- непосредственной нагрузки;
- взаимной нагрузки;
- короткого замыкания и холостого хода.

Испытания на нагрев обычно проводят при температуре окружающего воздуха не ниже +10°C и не выше + 40°C.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты

Испытание изоляции обмоток производится вместе с вводами. Испытание изоляции обмоток маслонаполненных трансформаторов при вводе их в эксплуатацию и капитальных ремонтах без смены обмоток и изоляции необязательно. Испытание сухих трансформаторов обязательно. При капитальном ремонте с полной сменой обмоток и изоляции испытание повышенным напряжением обязательно для всех типов трансформаторов. При капитальном ремонте с частичной сменой изоляции или при реконструкции трансформатора значение испытательного напряжения равно 0,9 заводского. Продолжительность испытания – 1 минута.

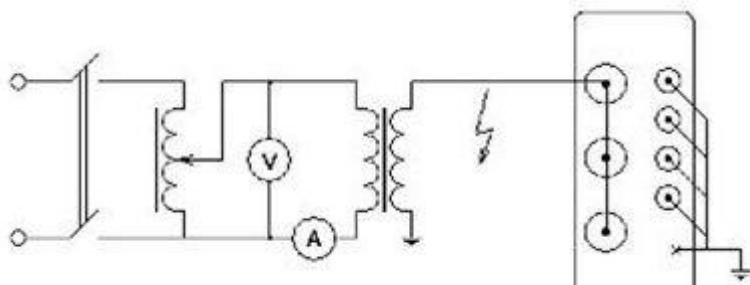


Рис. 1

Испытательное напряжение поднимается постепенно. После установки испытательного напряжения начинается отсчёт времени испытания. После испытания напряжение снимается, и испытываемые обмотки заземляются.

Испытание трансформаторов включением на номинальное напряжение

Включение трансформаторов производится на время не менее 30 минут. В течение этого времени осуществляется прослушивание и наблюдение за состоянием трансформатора. В процессе испытаний не должно иметь место явления, указывающие на неудовлетворительное состояние трансформатора.

Практическая работа

Тема: Изучение конструкции трансформатора.

Цель работы: Изучить конструкцию силового трансформатора.

Методические материалы для практической работы

Конструкция магнитопровода. Магнитопровод является конструктивной основой трансформатора. Он служит для проведения основного магнитного потока. Для уменьшения магнитного сопротивления по пути этого потока и, следовательно, уменьшения намагничивающего тока магнитопровод выполняется из специальной электротехнической стали. Так как магнитный поток в трансформаторе изменяется во времени, то для уменьшения потерь от вихревых токов в магнитопроводе он собирается из

отдельных электрически изолированных друг от друга листов стали. Толщина листов выбирается тем меньше, чем выше частота питающего напряжения. При частоте 50 Гц толщина листов стали принимается равной 0,35 - 0,5 мм. Изоляция листов осуществляется чаще всего лаковой пленкой, которая наносится с двух сторон каждого листа.

В магнитопроводе различают стержни и ярма. Стержень - это та часть магнитопровода, на которой располагаются обмотки, а ярмо - часть, не несущая обмоток и служащая для замыкания магнитной цепи (рис. 1).

В зависимости от взаимного расположения стержней, ярм и обмоток магнитопроводы делятся на **стержневые** и **броневые**. В стержневых магнитопроводах ярма прилегают к торцевым поверхностям обмоток, не охватывая их боковых поверхностей. В броневых магнитопроводах ярма охватывают не только торцевые, но и боковые поверхности обмоток, как бы закрывая их броней. Магнитопроводы однофазных трансформаторов показаны на рис. 2 и 3. В броневом магнитопроводе (рис. 2) имеются один стержень и два ярма, охватывающие обмотки.

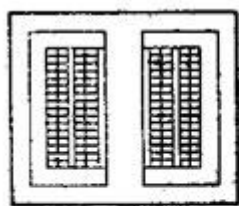


Рис. 2. Однофазный трансформатор с броневым магнитопроводом

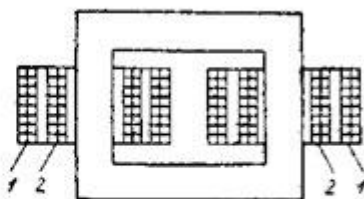


Рис. 3. Однофазный трансформатор со стержневым магнитопроводом

По каждому ярму замыкается половина магнитного потока стержня, поэтому площадь поперечного сечения каждого ярма в 2 раза меньше площади сечения стержня. В стержневом магнитопроводе (рис. 3) имеются два стержня, на каждом из которых располагается по половине обмоток 1 и 2. Половины каждой из обмоток соединяются между собой последовательно или параллельно. При таком расположении обмоток уменьшаются магнитные потоки рассеяния и улучшаются характеристики трансформатора. В трехфазных цепях могут применяться три однофазных трансформатора, обмотки которых соединяются по трехфазной схеме (рис. 4). Такой трансформатор называется трехфазной группой однофазных трансформаторов.

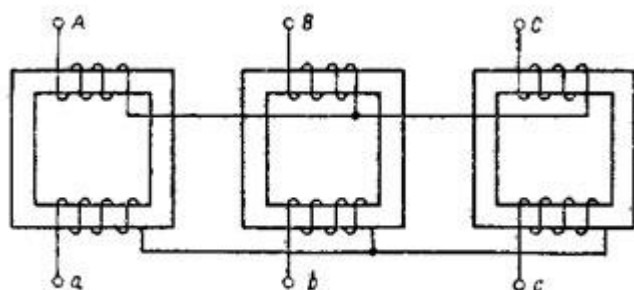


Рис. 4. Трехфазная группа однофазных трансформаторов

Чаще применяются трехфазные трансформаторы с общей магнитной системой для всех фаз. Броневая конструкция магнитопровода трехфазного трансформатора показана на рис. 5. Ее можно рассматривать как три броневых магнитопровода для однофазных трансформаторов, поставленных друг на друга. Трехфазные трансформаторы часто имеют три стержня и два ярма (рис. 6). Возможность применения такого магнитопровода для трансформации в трехфазных цепях видна из рис. 7.

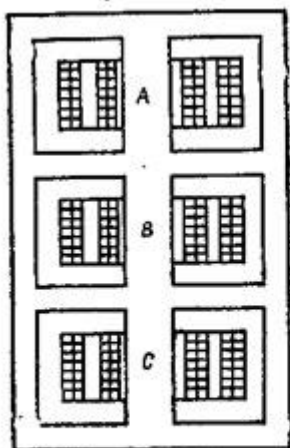


Рис. 5. Броневой трехфазный трансформатор

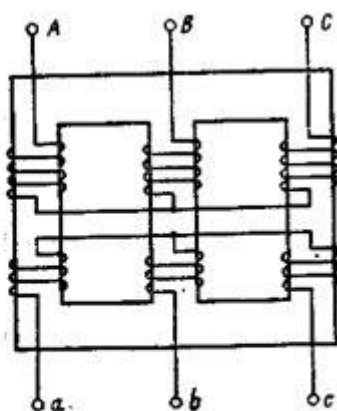


Рис. 6. Стержневой трехфазный трансформатор

Если расположить три однофазных трансформатора, как показано на рис. 7, а, то три стержня 1 - 3 можно конструктивно объединить в один. Но так как в симметричной трехфазной системе геометрическая сумма магнитных потоков трех фаз равна нулю, т. е. $\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = 0$, то этот стержень можно удалить и получить конструктивную схему 7, б. Если уменьшить длину ярм магнитопровода фазы В, то получим магнитопровод со стержнями, расположенными в одной плоскости (рис. 7, а). По сравнению со схемой на рис. 7, б магнитопровод, показанный на рис. 7, в, имеет некоторую магнитную несимметрию, так как магнитопровод в этом случае представляет собой магнитную цепь, имеющую два узла и три ветви, из которых средняя короче крайних. Как показывает практика, существенного значения такая несимметрия не имеет.

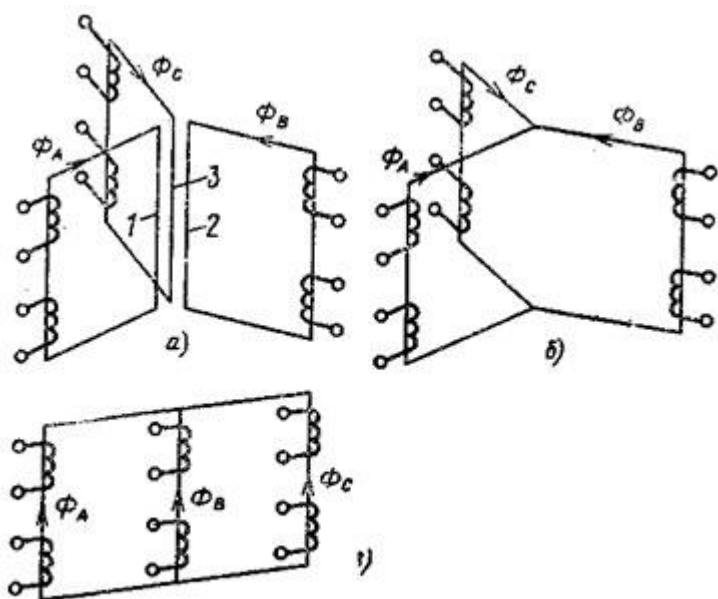


Рис. 7. Замена трех однофазных трансформаторов одним трехфазным с тремя стержнями и двумя ярами

На каждом стержне трехфазного стержневого магнитопровода располагаются обе обмотки одной фазы. В стержневых магнитопроводах магнитный поток ярма равен магнитному потоку стержня и площадь поперечного сечения стали в яре должна быть равна или несколько больше (для уменьшения магнитных потерь) площади сечения стали в стержне. Наибольшее распространение получили магнитопроводы стержневого типа (рис. 6). Иногда в трансформаторах большой мощности для уменьшения их габаритов по высоте до размеров, при которых возможна перевозка трансформаторов в собранном виде по железной дороге, применяют бронестержневые магнитопроводы (рис. 8 и 9).

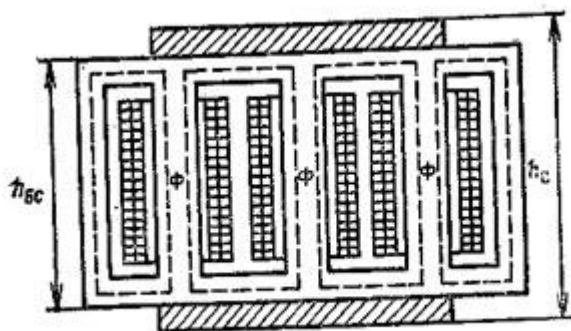


Рис. 9. Трехфазный трансформатор с бронестержневым магнитопроводом

Снижение высоты у этих трансформаторов происходит за счет ярем, которые по сравнению с ярами стержневых магнитопроводов имеют высоту в 2 раза меньшую для однофазных трансформаторов и в $\sqrt{3}$ раза меньшую для трехфазных. На рис. 8 и 9 для сопоставления показаны высоты стержневого h_c и бронестержневого h_{bc} магнитопроводов. На этих рисунках

обмотки показаны условно (без подразделения на обмотки НН и ВН).

По способу сочленения стержней с ярами различают трансформаторы со стыковыми (рис. 10) и шихтованными в переплет (рис. 11) магнитопроводами.

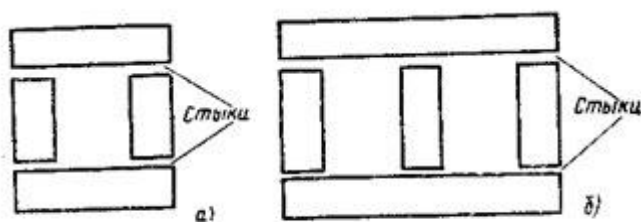


Рис. 10. Принцип стыкового соединения магнитопроводов однофазного (а) и трехфазного (б) трансформаторов

В первом случае стержни и яра выполняются и скрепляются раздельно и при сборке магнитопровода стержни с размещенными на них обмотками устанавливаются встык с ярами и стягиваются специальными конструкциями.

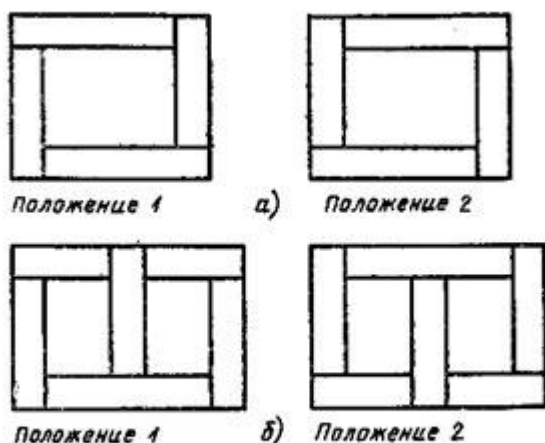


Рис. 11. Порядок укладки листов стали шихтованных магнитопроводов однофазных (а) и трехфазных (б) трансформаторов

В местах стыка во избежание замыкания листов (рис. 12) и возникновения больших вихревых токов, вызывающих увеличение потерь и чрезмерное повышение температуры стали, устанавливаются изоляционные прокладки.

Сборка магнитопровода в переплет ведется путем чередования слоя листов, разложенных по положению 1 (рис. 11, а, б), со слоем листов, разложенных по положению 2. В результате такой сборки после стяжки ярем прессующими балками и стержней бандажами из стеклоленты получается остов трансформатора, не требующий каких-либо добавочных креплений (рис. 13). Остовом трансформатора называется магнитопровод вместе со всеми конструкциями и деталями, служащими для скрепления его отдельных частей. Листы, из которых собирается шихтованный магнитопровод, имеют

прямоугольную форму (рис. 11), если они штампуются из горячекатаной электротехнической стали.

В настоящее время магнитопроводы трансформаторов изготавливаются из холоднокатаной электротехнической стали, так как она обладает низкими удельными потерями и повышенной магнитной проницаемостью. При применении этой стали оказалось возможным повысить магнитную индукцию в стержне масляного трансформатора до 1,6-1,7 Тл (вместо 1,4-1,5 Тл у горячекатаной), что дало уменьшение его поперечного сечения и, следовательно, сокращение массы металла - стали и обмоток трансформатора. Кроме того, при этом уменьшаются потери в стали и намагничивающий ток трансформатора. После сборки шихтованного впереплет магнитопровода листы верхнего ярма вынимаются (расшихтовываются), на стержнях размещаются обмотки, а затем ярмо снова зашихтовывается.

Стержни магнитопровода трансформаторов в поперечном сечении имеют форму ступенчатой фигуры или прямоугольника. Поперечные сечения стержневых и бронестержневых трансформаторов имеют форму ступенчатой фигуры, вписанной в окружность с диаметром D_0 (рис. 16). Число ступеней фигуры увеличивается с возрастанием мощности трансформатора. Увеличение числа ступеней приводит к более полному заполнению площади круга площадью ступенчатой фигуры, но одновременно сопровождается увеличением числа типов пластин, необходимых для сборки стержня. У мощных трансформаторов в магнитопроводе предусматриваются каналы для его охлаждения.

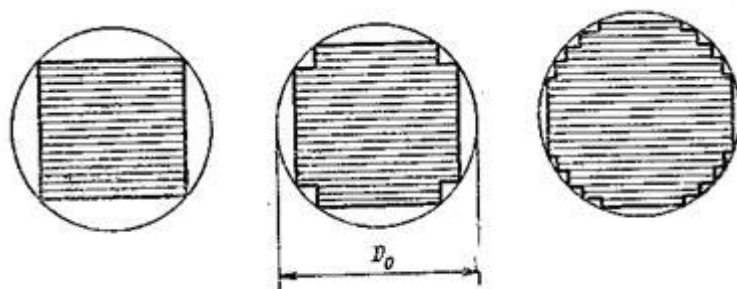


Рис. 16. Поперечные сечения стержней трансформаторов

При стержнях, имеющих поперечное сечение, приближающееся к кругу, обмотки имеют вид полых цилиндров. При такой конструктивной форме обмотки (по сравнению с прямоугольной) сокращается расход материалов на ее изготовление и увеличивается электрическая и механическая прочность. Прямоугольное сечение стержней применяется иногда в трансформаторах броневого типа и трансформаторах небольшой мощности.

Конструкция обмоток. По способу расположения на стержне обмотки трансформатора делятся на концентрические (рис. 17) и чередующиеся (рис. 18). Концентрические обмотки выполняются каждая в виде цилиндра и располагаются на стержне концентрически относительно друг друга. Высота обеих обмоток, как правило, одинакова. В трансформаторах высокого напряжения ближе к стержню располагается обмотка НН, так как это позволяет уменьшить изоляционное расстояние между стержнем и этой обмоткой. В чередующихся обмотках катушки ВН и НН чередуются вдоль стержня по высоте. Эти обмотки имеют меньшее магнитное рассеяние.

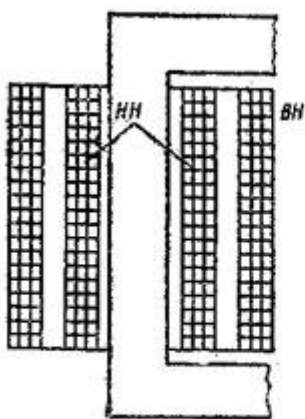


Рис. 17. Стержень трансформатора с концентрическими обмотками

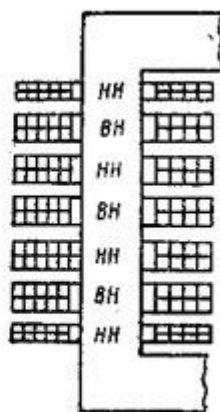


Рис. 18. Стержень трансформатора с чередующимися обмотками

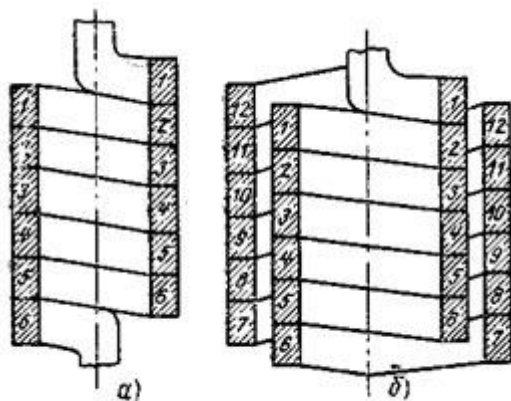


Рис. 19. Цилиндрическая обмотка простая (а) и двухслойная (б)

Однако при высоких напряжениях изоляция таких обмоток сложнее из-за большого количества промежутков между катушками ВН и НН.

В силовых трансформаторах нашли применение главным образом концентрические обмотки, которые по характеру намотки можно разделить на цилиндрические, винтовые и спиральные.

Цилиндрической обмоткой называется обмотка, витки которой состоят из одного или нескольких параллельных проводников, причем витки

наматываются вдоль стержня впритык друг к другу (рис. 19,а). При большом числе витков обмотку делят на две concentрические катушки, между которыми оставляют канал для охлаждения (рис. 19,б). Общий вид двухслойной цилиндрической обмотки, витки которой составлены из двух проводников, показан на рис. 20. Однослойные и двухслойные цилиндрические обмотки применяют главным образом в качестве обмоток НН при номинальных токах до 800 А.

Винтовая обмотка состоит из витков, которые составлены из нескольких (от 4 до 20) параллельных проводников прямоугольного сечения, расположенных в радиальном направлении относительно друг друга. Намотку витков этой обмотки осуществляют, как и у цилиндрической обмотки, по винтовой линии, имеющей один или несколько ходов, но при этом между соседними по высоте витками оставляют канал для охлаждения (рис. 22).

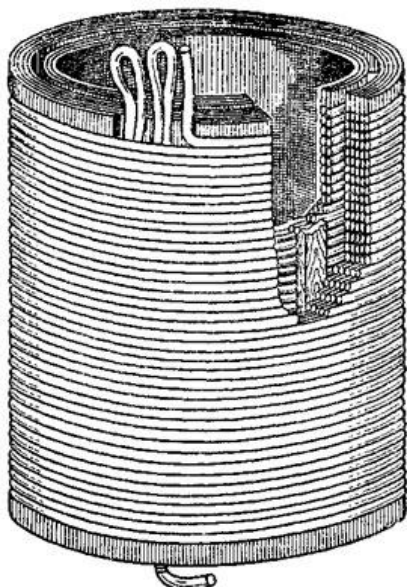


Рис. 21. Общий вид многослойной цилиндрической обмотки из круглого провода

В отдельных случаях для экономии места по высоте радиальные охлаждающие каналы могут быть сделаны через один виток. Общий вид одноходовой винтовой обмотки дан на рис. 23.

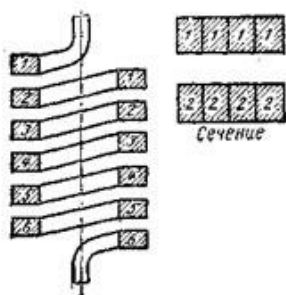


Рис. 22. Винтовая параллельная обмотка из шести витков

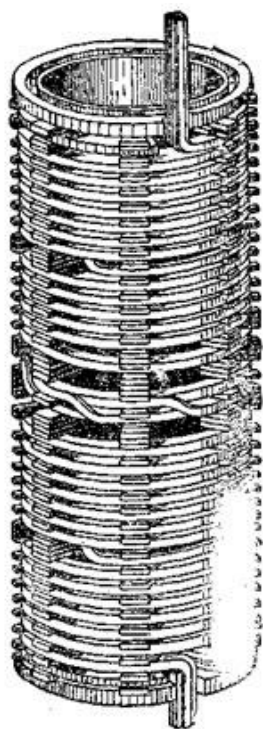


Рис. 23. Общий вид одноходовой винтовой параллельной обмотки

Главной изоляцией называется изоляция данной обмотки от остова, бака и соседних обмоток. Осуществляется она посредством комбинации изоляционных промежутков и барьеров в виде электроизоляционных цилиндров и шайб.

Продольная изоляция является изоляцией между различными точками данной обмотки, т. е. между витками, слоями и катушками.

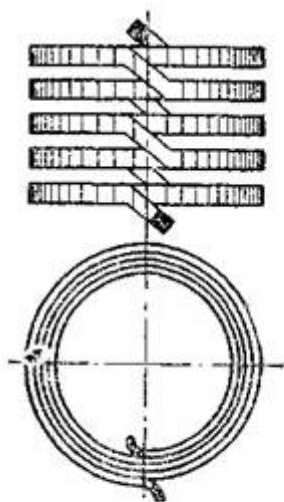


Рис. 25. Непрерывная спиральная катушечная обмотка

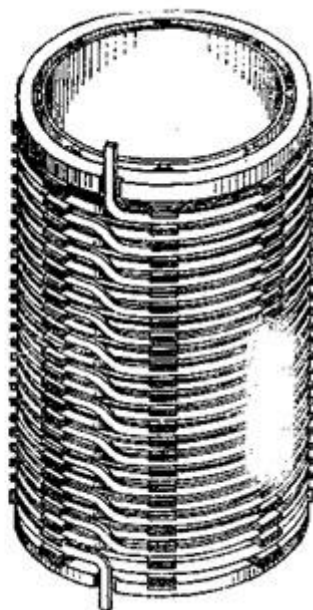


Рис. 26. Общий вид непрерывной спиральной катушечной обмотки

Изоляция между витками обеспечивается собственной изоляцией обмоточного провода. Для междуслойной изоляции применяется кабельная бумага, укладываемая в несколько слоев. Межкатушечная изоляция обычно осуществляется радиальными каналами.

Конструктивные части трансформатора. Основным видом силового трансформатора является масляный трансформатор. Сухие трансформаторы применяются в электроустановках производственных помещений, жилых и служебных зданий, т. е. там, где применение масляных трансформаторов вследствие их взрыво- и пожароопасности недопустимо. В сухих трансформаторах охлаждающей средой служит проникающий к обмоткам и магнитопроводу атмосферный воздух.

У масляного трансформатора выемная его часть, являющаяся по существу собственно трансформатором, погружается в бак с маслом (рис. 27). К выемной части относится остов с обмотками и отводами, а в некоторых конструкциях также и крышка бака. Масло, заполняющее бак, имеет двойное назначение. Как изолирующая среда оно имеет более высокую диэлектрическую прочность, чем воздух, благодаря чему позволяет уменьшить изоляционные расстояния между токоведущими и заземленными частями, а также между различными обмотками.

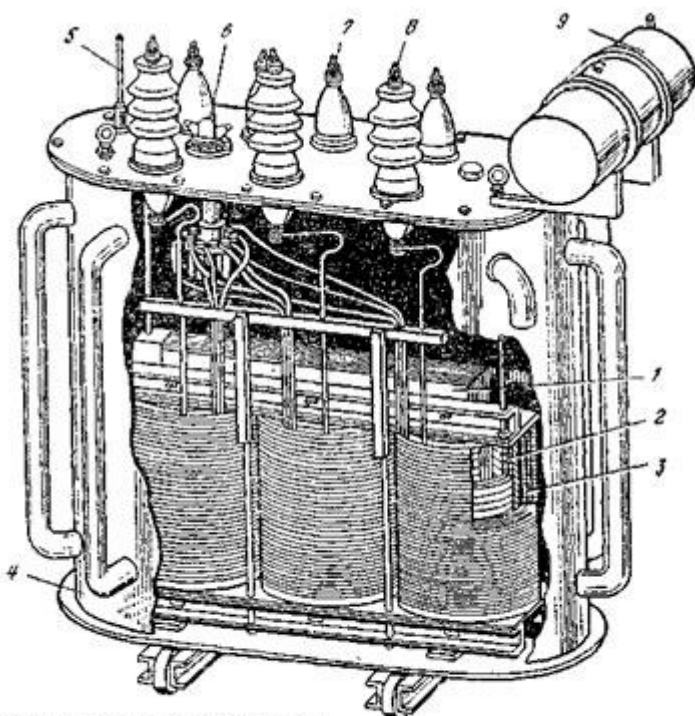


Рис. 27. Масляный трансформатор:
1 - шихтованный магнитопровод; 2 - обмотка НН; 3 - обмотка ВН; 4 - трубчатый бак;
5 - термометр; 6 - переключатель регулировочных отводов обмотки ВН; 7 - ввод об-
мотки НН; 8 - ввод обмотки ВН; 9 - расширитель

Бак трансформатора обычно имеет овальную форму и для удобства транспортировки располагается на тележке с катками. С увеличением мощности трансформатора конструкция бака видоизменяется, так как при этом потери, которые вызывают нагрев частей трансформатора, растут быстрее, чем поверхность охлаждения. Поэтому с увеличением мощности трансформатора приходится искусственно увеличивать поверхность охлаждения.

У трансформаторов мощностью до 25 - 40 кВ·А применяются баки с гладкими стенками. Внутри бака возникает естественная циркуляция масла: нагреваясь от обмоток и магнитопровода, оно поднимается вверх, а у стенок бака охлаждается и опускается вниз. От стенок бака тепло рассеивается в окружающее пространство путем излучения и конвекции. При мощностях трансформаторов от 40 до 1600 кВ·А для увеличения поверхности охлаждения в стенки бака вваривают трубы диаметром 30 - 60 мм, располагаемые в 1 - 3 ряда. Процесс охлаждения трансформаторов протекает, как и в предыдущем случае.

Расширитель представляет собой цилиндрический резервуар, располагаемый выше крышки бака масляного трансформатора и соединенный трубкой с баком (рис. 29). Внутренний объем расширителя, равный примерно 10 % объема бака трансформатора, заполняется маслом с таким расчетом, чтобы при всех возможных колебаниях температуры оно полностью заполняло бак.

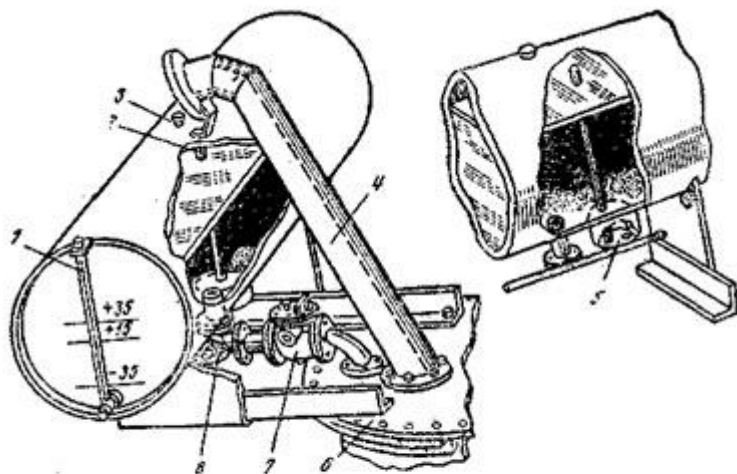


Рис. 29. Расширитель и выхлопная труба:
1 - указатель уровня масла; 2 - трубка для свободного обмена воздуха; 3 - пробка для заливки масла; 4 - выхлопная труба; 5 - грязеотстойник; 6 - бак трансформатора; 7 - газовое реле; 8 - кран для отсоединения расширителя

Выхлопная труба (рис. 29) устанавливается на всех трансформаторах мощностью 1000 кВ·А и выше и предназначена для предохранения бака

трансформатора от деформации, которая может возникнуть при резком повышении давления из-за интенсивного образования газов (например, при коротком замыкании).

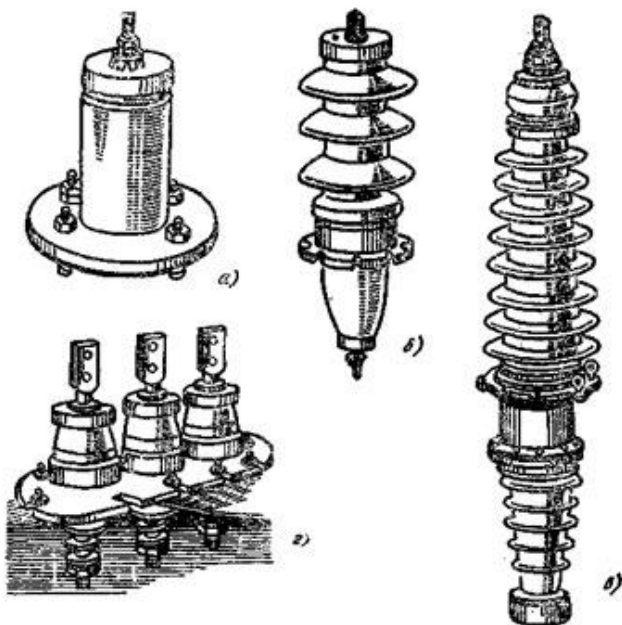


Рис. 30. Вводы трансформаторов:
 а - для внутренней установки; б - для наружной установки; в - маслонаполненный для напряжения 110 кВ;

Вводы. Начала и концы обмоток выводятся из бака трансформатора наружу. Для этого используются проходные фарфоровые изоляторы, внутри которых располагается токоведущий медный стержень. Такие изоляторы закрепляются на крышке бака и называются вводами. С увеличением напряжения трансформатора размеры вводов увеличиваются, а их конструкция усложняется (рис. 30). Вводы для трансформаторов, устанавливаемых внутри помещения, обычно имеют гладкую внешнюю поверхность, а для трансформаторов, устанавливаемых снаружи, - ребристую.

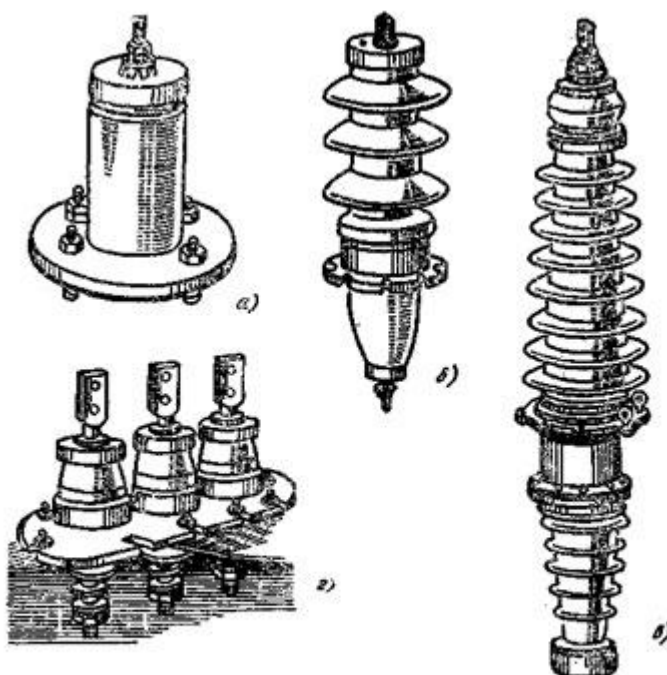


Рис. 30. Вводы трансформаторов:
 а - для внутренней установки; б - для наружной установки; в - маслонаполненный для напряжения 110 кВ;

Контрольные вопросы:

1. Пояснить, почему магнитопровод набирают из листов стали?
2. Пояснить назначение расширителя.
3. Виды обмоток трехфазного силового трансформатора.
4. Пояснить принцип действия силового трансформатора.

Содержание отчета:

1. Название и цель практической работы.
2. Начертить схему силового трехфазного и однофазного трансформатора.
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Показать технические характеристики для выбора силового трансформатора.

Практическая работа

Тема: Испытания силовых трансформаторов.

Цель работы: Изучить процесс испытаний силового трансформатора.

Методическая часть работы

Виды испытаний и
проверок

1. Визуальный осмотр
2. Измерение сопротивления изоляции обмоток
3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току
4. Измерение сопротивления нулевой последовательности
5. Проверка работы переключающего устройства
6. Проверка коэффициента трансформации
7. Измерение тока и потерь холостого хода
8. Проверка напряжения и потерь короткого замыкания
9. Испытание бака трансформатора на герметичность
10. Испытание на нагрев
11. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты:
12. Испытание включением толчком на номинальное напряжение

Визуальный осмотр

При визуальном осмотре трансформаторов проверяется:

- наличие пломб, предусмотренных заводом-изготовителем;
- уровень масла;
- отсутствие механических повреждений бака, гофр, прутка, изоляторов и шпилек вводов;
- отсутствие течи масла;
- отсутствие незатянутых болтовых соединений;
- температура верхних слоев масла по термометру;
- отсутствие внутреннего избыточного давления в трансформаторе по показаниям мановакуумметра (при его установке) или по состоянию гофр (для трансформаторов типа ТМГ).

Измерение сопротивления изоляции обмоток

Измерение сопротивления изоляции обмоток трансформатора выполняется при помощи мегаомметра на напряжение 2500 В при температуре не ниже $+10^{\circ}\text{C}$.

Характеристики изоляции измеряются по схемам и в последовательности, указанным ниже: НН – ВН + Бак; ВН – НН + Бак; ВН + НН – Бак

При измерении все выводы обмоток одного напряжения соединяют вместе, остальные обмотки и бак трансформатора должны быть заземлены. Перед началом измерения все обмотки должны быть заземлены не менее чем на 5 минут, а между отдельными измерениями не менее чем на 2 минуты.

При измерении сопротивления изоляции отсчет проводят дважды: через 15 с и через 60 с после появления на трансформаторе напряжения, при котором проводят измерение.

Дополнительным критерием оценки состояния изоляции является коэффициент абсорбции, который рассчитывают по формуле: $K_{а6} = R_{60}/R_{15}$,

где R_{60} и R_{15} – сопротивления изоляции, измеренные через 60 с и 15 с после появления на объекте напряжения, при котором проводили измерения.

Если коэффициент абсорбции $K_{а6} > 1,3$, то трансформатор по сопротивлению изоляции считается годным к работе.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

Измерение производится на всех ответвлениях обмоток, если в паспорте трансформатора нет других указаний. Измеряются линейные сопротивления, при наличии нулевого вывода измеряют также одно из фазных сопротивлений (между зажимом нейтрали и на одном из линейных зажимов). В такой схеме допускается измерять только фазные сопротивления, но при условии, что сопротивление отвода нейтрали не превышает 2% фазного сопротивления обмотки. Установившимся показанием прибора следует считать показание, которое изменяется не более чем на 1 % отсчитанного значения в течение не менее 30 с.

Сопротивления обмоток трехфазных трансформаторов, измеренные на одинаковых ответвлениях разных фаз при одинаковой температуре, не должны отличаться более чем на 2%.

Измерение сопротивления нулевой последовательности

Сопротивление нулевой последовательности измеряют при номинальной частоте (допустимое отклонение в пределах $\pm 1\%$) на основном ответвлении. Сопротивление измеряется между соединенными вместе тремя линейными зажимами обмотки и выведенным зажимом нейтрали.

Ток при измерении не должен превышать расчетного тока нейтрали. Подведенное напряжение не должно превышать напряжения между линией и нейтралью при нормальной работе трансформатора. Измеренное сопротивление нулевой последовательности, выраженное в Омах и приведенное к одной фазе, рассчитывают по формуле: $Z_0 = 3U/I$, где U – подведенное напряжение, В,
 I – общий ток трех фазных обмоток, А

Проверка переключающего устройства типа ПБВ

Для оценки правильности работы переключающего устройства типа ПБВ измеряются сопротивления постоянному току регулируемой обмотки при всех положениях переключателя и проверяется коэффициент трансформации. Измерение сопротивления постоянному току производится методом "амперметра-вольтметра" или мостовым методом. Наибольшее сопротивление регулируемой обмотки трансформатора имеет место в положении 1 переключателя (наибольшего коэффициента трансформации), а наименьшее в положении V (наименьшего коэффициента трансформации).

Проверка коэффициента трансформации

Коэффициент трансформации силовых трансформаторов определяют для проверки соответствия паспортным данным и правильности подсоединения ответвлений обмоток к переключателям.

Определение коэффициента производится методом «двух вольтметров». По этому методу к одной из обмоток трансформатора подводится напряжение, и двумя вольтметрами одновременно измеряется подводимое напряжение и напряжение на другой обмотке трансформатора. Подводимое напряжение не должно превышать номинальное и в тоже время должно составлять не менее 1% номинального напряжения.

Испытания трехфазных трансформаторов допустимо производить при трехфазном и однофазном возбуждении. При этом измеряют линейные напряжения на одноименных зажимах обеих обмоток.

Коэффициент трансформации определяют для всех ответвлений обмоток и всех фаз, и не должен отличаться более чем на 2 % от значений, указанных в паспорте трансформатора для каждого положения переключателя.

Измерение потерь холостого хода

Для условий эксплуатации опыт холостого хода (ХХ) при малом напряжении является основным способом измерения тока и потерь холостого хода. Измерения потерь ХХ трансформаторов при вводе их в эксплуатацию и в процессе эксплуатации производятся с целью выявления возможных витковых замыканий, замыканий в элементах магнитопровода и замыканий магнитопровода на бак трансформатора. Опыты ХХ рекомендуется проводить при малом напряжении 380/220 В. При этом напряжение подается на обмотку НН, а другие обмотки остаются свободными. Предпочтительно обмотки возбуждать линейным напряжением 380 В, так как фазное напряжение сети может иметь значительное отклонение от синусоидальной формы кривой, что приведет к искажению результатов измерений. Перед проведением опыта ХХ трансформатора, находящегося в эксплуатации, необходимо размагнитить его магнитопровод от остаточного намагничивания, возникающего вследствие внезапного сброса питающего напряжения (отключение трансформатора от сети) и обрыва тока при его переходе не через нуль. Снятие остаточного намагничивания производится пропусканием постоянного тока противоположных полярностей по одной из обмоток каждого стержня магнитопровода трансформатора. Процесс размагничивания осуществляется в несколько циклов. В первом цикле ток

размагничивания должен быть не менее удвоенного тока ХХ трансформатора при номинальном напряжении в каждом последующем цикле ток размагничивания должен примерно на 30 % быть меньше тока предыдущего цикла. В последнем цикле ток размагничивания не должен быть больше тока ХХ трансформатора при напряжении 380 В. В качестве источника постоянного тока могут использоваться переносные аккумуляторы, выпрямительные устройства.

При вводе в эксплуатацию нового трансформатора снятие остаточного намагничивания может не производиться, если трансформатор не прогревался постоянным током и измерению тока и потерь ХХ не предшествовало измерение сопротивления обмоток постоянному току. При пусконаладочных испытаниях опыт ХХ следует проводить перед началом других видов испытаний.

В соответствии с требованиями ПУЭ производится одно из измерений:

- а) при номинальном напряжении. Измеряется ток холостого хода. Значение тока не нормируется;
- б) при малом напряжении. Измерение производится с приведением потерь к номинальному напряжению или без приведения (метод сравнения).

Опыт холостого хода трансформатора называется включение одной из его обмоток (обычно низкого напряжения) под номинальное напряжение. Потребляемый при этом ток называют током холостого хода I_{xx} (обычно выражают в % от $I_{ном}$). Потребляемую при этом активную мощность называют потерями холостого хода P_{xx} (кВт). Эта мощность расходуется, в основном, на перемагничивание электротехнической стали (потери на гистерезисе) и на вихревые токи. Ток и потери холостого хода являются паспортными данными силовых трансформаторов.

Измерения проводят в соответствии с рис.1

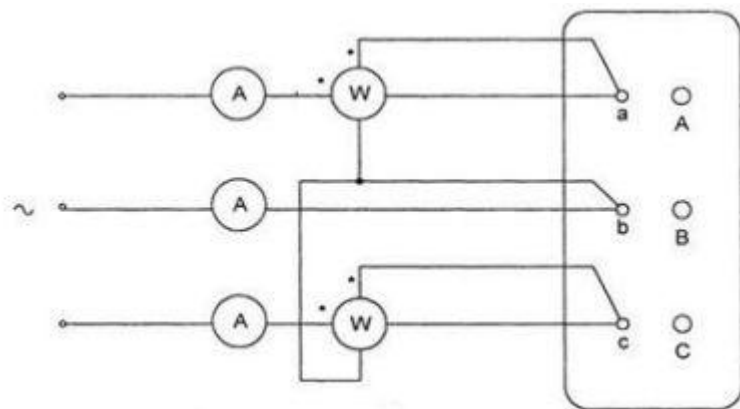


Рис. 1

При опыте холостого хода к обмоткам НН (ВН) трансформатора при разомкнутых обмотках ВН (НН) подводят номинальное напряжение (с допустимым отклонением в пределах 0,5 %), номинальной частоты (с допустимым отклонением в пределах 1 %), практически синусоидальной формы и практически симметричное.

Проверка потерь и напряжения короткого замыкания

Измерение потерь и напряжения короткого замыкания на основном ответвлении производится в соответствии с рис. Опыт короткого замыкания выполняют для каждой пары обмоток.

Одну обмотку НН замыкают накоротко, а обмотку ВН питают номинальным током от источника переменного тока номинальной частоты, остальные обмотки разомкнуты. Для замыкания обмотки накоротко применяют возможно более короткие проводники, имеющие примерно такое же сечение, как и сечение токоведущих зажимов замыкаемой накоротко обмотки. Опыт короткого замыкания проводят при токе от $\frac{1}{4}$ номинального до номинального. При опыте короткого замыкания ток и напряжение определяют как среднее арифметическое показание приборов всех трех фаз. Если несимметрия токов и напряжений не превышает 2%, то при испытаниях трансформаторов за значение тока при опыте короткого замыкания допускается принимать величину тока, устанавливаемого в одной из фаз, за значение напряжения

– значение того из трех измеренных напряжений, величина которого наиболее близка к среднему арифметическому значению напряжения.

Испытание бака трансформатора на герметичность

Под герметичностью бака трансформатора следует понимать его свойство препятствовать прониканию наружу теплоносителя (охлаждающей среды) и изолирующей среды. Продолжительность испытания, нормированное избыточное давление, температура охлаждающей и изолирующей сред должны быть указаны в стандартах (технических условиях) на трансформаторы конкретных типов.

Испытание производится:

- у трансформаторов напряжением до 10кВ включительно – гидравлическим давлением столба масла, высота которого над уровнем заполненного расширителя составляет 0,6 метра, за исключением трансформаторов с волнистыми баками и пластинчатыми радиаторами, для которых высота столба масла принимается равной 0,3 метра;
- у трансформаторов с плёночной защитой масла – созданием внутри гибкой оболочки избыточного давления воздуха 10кПа;
- у остальных трансформаторов – созданием избыточного давления азота или сухого воздуха 10кПа в надмасляном пространстве расширителя.

Продолжительность испытания во всех случаях – не менее 3 часов.

Температура масла в баке при испытаниях трансформаторов напряжением до 150кВ включительно – не ниже 10°C, остальных – не ниже 20°C.

Результаты испытания трансформатора считаются удовлетворительными, если осмотром после испытания течь масла не обнаружена

Испытание на нагрев

Испытания на нагрев проводят при номинальных условиях нагрузки трансформатора. За номинальные условия принимают такие условия, при которых потери в токоведущих частях и добавочные потери, обусловленные потоками

рассеяния, равны установленным стандартами (техническими условиями) потерям КЗ, а потери в стали и соответствующие добавочные потери равны нормализованным стандартами потерям холостого хода ХХ (без допуска).

Наибольшие превышения температуры над температурой окружающей среды при сколь угодно длительно поддерживаемых во время испытаний номинальных условиях нагрузки должны не превосходить следующих значений:

- для магнитопровода на его поверхности – 75°C ;
- для обмотки с изоляцией класса А – 65°C ;
- для масла (для сведения) – 55°C .

Нагрев трансформаторов может быть произведен следующими методами:

- непосредственной нагрузки;
- взаимной нагрузки;
- короткого замыкания и холостого хода.

Испытания на нагрев обычно проводят при температуре окружающего воздуха не ниже $+10^{\circ}\text{C}$ и не выше $+40^{\circ}\text{C}$.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты

Испытание изоляции обмоток производится вместе с вводами. Испытание изоляции обмоток маслonaполненных трансформаторов при вводе их в эксплуатацию и капитальных ремонтах без смены обмоток и изоляции необязательно. Испытание сухих трансформаторов обязательно. При капитальном ремонте с полной сменой обмоток и изоляции испытание повышенным напряжением обязательно для всех типов трансформаторов. При капитальном ремонте с частичной сменой изоляции или при реконструкции трансформатора значение испытательного напряжения равно 0,9 заводского. Продолжительность испытания – 1 минута.

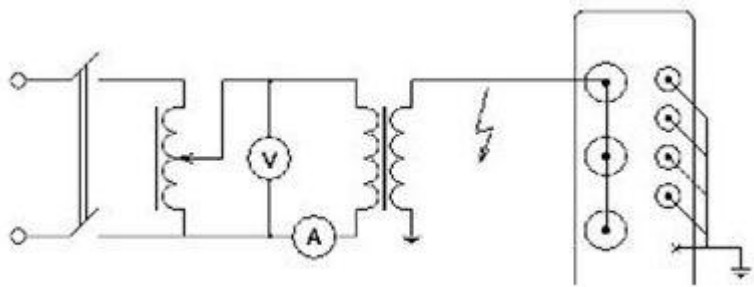


Рис. 1

Испытательное напряжение поднимается постепенно. После установки испытательного напряжения начинается отсчёт времени испытания. После испытания напряжение снимается, и испытываемые обмотки заземляются.

Испытание трансформаторов включением на номинальное напряжение

Включение трансформаторов производится на время не менее 30 минут. В течение этого времени осуществляется прослушивание и наблюдение за состоянием трансформатора. В процессе испытаний не должно иметь место явления, указывающие на неудовлетворительное состояние трансформатора.

Контрольные вопросы:

1. Перечислить возможные повреждения силового трансформатора.
2. Пояснить назначение расширителя.
3. Виды испытаний трехфазного силового трансформатора.
4. Пояснить принцип действия силового трансформатора.

Содержание отчета:

1. Название и цель практической работы.
2. Начертить схему подключения силового трехфазного и однофазного трансформатора.
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Перечислить техническую оснащенность при проведении испытаний силового трансформатора.
4. Заполнить таблицу «Нормы испытаний силовых трансформаторов»

Таблица: Нормы испытаний силовых трансформаторов

Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания
1. Определение условий включения трансформатора.			
2. Измерение сопротивления изоляции обмоток			
3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции обмоток 10 кВ			

4. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты: 1) изоляции обмоток 10 кВ, 1.) изоляция цепей защитной аппаратуры			
5. Проверка коэффициента трансформации.			
6. Проверка группы соединения обмоток трехфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов.			
7. Оценка состояния переключающих устройств.			
8. Испытание бака на плотность.			
9. Испытание трансформаторного масла из трансформаторов			
10. Оценка влажности твердой изоляции.			

Заполненная таблица для проверки обучающихся.

Нормы испытаний силовых трансформаторов

Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания
1. Определение условий включения трансформатора.	К	Трансформаторы, прошедшие капитальный ремонт с полной или	При заполнении трансформаторов маслом с иными

	<p>частичной заменой обмоток или изоляции, подлежат сушке независимо от результатов измерений.</p> <p>Трансформаторы, прошедшие капитальный ремонт без замены обмоток или изоляции, могут быть включены в работу без под сушки или сушки при соответствии показателей масла и изоляции обмоток, а также при соблюдении условий пребывания активной части на воздухе.</p> <p>Продолжительность работ, связанных с разгерметизацией, должна быть не более:</p> <p>1) для трансформаторов на напряжение до 35кВ 24 ч при относительной влажности до 75% и 16 ч при относительной влажности до 85%;</p>	<p>характеристиками, чем у слитого до ремонта, может наблюдаться изменение сопротивления изоляции и Δдельта, что должно учитываться при комплексной оценке состояния трансформатора.</p> <p>Условия включения сухих трансформаторов без сушки определяются в соответствии с указаниями завода-изготовителя.</p> <p>При вводе в эксплуатацию трансформаторов, прошедших капитальный ремонт в условиях эксплуатации без смены обмоток и изоляции, рекомендуется выполнение контроля в соответствии с требованиями, приведенными в нормативно-технической документации.</p>
<p>2. Измерение сопротивления изоляции обмоток</p>	<p>К, Т, М</p> <p>Наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции, при которых возможно включение трансформаторов в работу после капитального ремонта, регламентируются указаниями табл.2</p>	<p>Измеряется мегаомметром на напряжение 2500 В. Производится как до ремонта, так и после его окончания. См. также примечание 3.</p> <p>Измерения производятся по схемам табл. 3 При текущем ремонте</p>

		Измерения в процессе эксплуатации производятся при неудовлетворительных результатах испытаний масла и (или) хроматографического анализа растворенных в масле газов, а также в объеме комплексных испытаний. Для трансформаторов на напряжение до 150 кВ сопротивление изоляции рекомендуется измерять при температуре не ниже 10 град.С	измерение производится, если специально для этого не требуется расшиновка трансформатора.
3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции обмоток 10 кВ	К	См. табл. 5 . Продолжительность испытания - 1 мин. Наибольшее испытательное напряжение при частичном ремонте принимается равным 90%, а при капитальном ремонте без замены обмоток и изоляции или с заменой изоляции, но без замены обмоток - 85% от значения, указанного в табл.5.	При капитальных ремонтах маслонаполненных трансформаторов без замены обмоток и изоляции испытание изоляции обмоток повышенным напряжением не обязательно. Испытание изоляции сухих трансформаторов обязательно.
4) изоляция цепей защитной аппаратуры	К	Проводится напряжением 1 кВ в течение 1 мин. Значение испытательного напряжения при испытаниях изоляции	Испытание изоляции производится (относительно заземленных частей) цепей с присоединенными трансформаторами тока, газовыми и

		электрических цепей манометрических защитными реле, маслоуказателями, термометров - 0,75 кВ в течение 1 мин. отсечным клапаном и датчиками температуры при отсоединенных разъемах манометрических термометров, цепи которых испытываются отдельно.
5. Проверка коэффициента трансформации.	К	<p>Должен отличаться не более чем на 2% от значений, полученных на соответствующих ответвлениях других фаз, или от заводских (паспортных) данных. Кроме того, для трансформаторов с РПН разница коэффициентов трансформации должна быть не выше значения ступени регулирования.</p> <p>Производится на всех ступенях переключателя. *</p>
6. Проверка группы соединения обмоток трехфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов.	К	<p>Группа соединений должна соответствовать паспортным данным, а полярность выводов - обозначениям на щитке или крышке трансформатора.</p> <p>Производится при ремонтах с частичной или полной заменой обмоток.</p>
7. Оценка состояния переключающих устройств.	К	Осуществляется в соответствии с требованиями инструкций заводов-изготовителей или нормативно-технических документов
8. Испытание бака на плотность.	К	<p>Продолжительность испытания во всех случаях - не менее 3 ч.</p> <p>Производится: у трансформаторов напряжением до</p>

		<p>Температура масла в баке трансформаторов напряжением до 150 кВ не ниже 10 град. С. Не должно быть течи масла. Герметизированные трансформаторы и не имеющие расширителя испытаниям не подвергаются.</p>	<p>35 кВ включительно - гидравлическим давлением столба масла, высота которого над уровнем заполненного расширителя принимается равной 0,6 м; для баков волнистых и с пластинчатыми радиаторами - 0,3 м; у трансформаторов с пленочной защитой масла - созданием внутри гибкой оболочки избыточного давления воздуха 10 кПа; у остальных трансформаторов - созданием избыточного давления азота или сухого воздуха 10 кПа в надмасляном пространстве расширителя.</p>
9. Испытание трансформаторного масла из трансформаторов	К, Т,М	<p>У трансформаторов напряжением до 35 кВ включительно - по показателям п. п. 1 - 5, 7 табл. 6 .</p> <p>У трансформаторов напряжением 110 кВ и выше - по показателям п. п. 1 - 9 табл. 6 , а у трансформаторов с пленочной защитой дополнительно по п. 10 той же таблицы.</p>	<p>Производится:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. после капитальных ремонтов трансформаторов; 2. не реже 1 раза в 5 лет для трансформаторов мощностью выше 630 кВА, работающих с термосифонными фильтрами; 3. не реже 1 раза в 2 года для

трансформаторов мощностью выше 630 кВА, работающих без термосифонных фильтров. Производится 1 раз в 2 года, а также при комплексных испытаниях трансформатора.

10. Оценка влажности твердой изоляции.

К, М

Допустимое значение влагосодержания твердой изоляции после капитального ремонта - 2%, эксплуатируемых - 4% по массе; в процессе эксплуатации допускается не определять, если влагосодержание масла не превышает 10 г/т. Производится первый раз через 10-12 лет после включения, в дальнейшем 1 раз в 4 - 6 лет у трансформаторов напряжением 10 кВ и выше.

При капитальном ремонте определяется по влагосодержанию заложенных в бак образцов, в эксплуатации расчетным путем.

Цель проведения пуско-наладочных работ силового трансформатора.

Целью проведения пуско-наладочных работ на силовых трансформаторах является проверка возможности включения трансформаторов в работу без предварительной ревизии и сушки, а также соответствия их характеристик данным заводов-изготовителей.

Техническая оснащенность.

1. Средства защиты:

- переносное заземление;
- предупредительные плакаты;
- диэлектрические боты или коврик;
- диэлектрические перчатки.

2. Приборы:

- мегаомметр электронный Ф 4200/2-М;
- амперметр Э 526;
- мост постоянного тока Р 333;
- испытательная установка АИД-70;
- вольтметр Э 545.
- комплект измерительный К505
- мост переменного тока Р5026

Практическая работа

Тема: Методика проведения приемо-сдаточных испытаний опорных и проходных изоляторов

Цель работы: Изучить этапы и объем пуско-наладочных работ, методику выявления неисправностей электрооборудования.

Методическая часть работы

Нормы приемо-сдаточных испытаний фарфоровых подвесных и опорных изоляторов

Объем приемо-сдаточных испытаний.

В соответствии с требованиями ПУЭ объем приемо-сдаточных испытаний опорных изоляторов определяет выполнение следующих работ.

1. Измерение сопротивления изоляции подвесных и многоэлементных изоляторов.
2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты:
 - а) опорных одноэлементных изоляторов;
 - б) опорных многоэлементных и подвесных изоляторов.

Измерение сопротивления изоляции подвесных и многоэлементных изоляторов.

Измерение производится мегаомметром на напряжение 2500 В в течении 1 мин. только при положительной температуре окружающего воздуха. Измерение сопротивления изоляторов следует производить непосредственно перед их установкой в распределительных устройствах и на линиях электропередачи. Сопротивление изоляции каждого подвесного изолятора или каждого элемента штыревого изолятора должно быть не менее 300 МОм. При измерениях поверхность изолятора должна быть сухой и не иметь проводящих загрязнений. О порядке измерения сопротивления изоляции следует руководствоваться указаниями.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

- а) опорных одноэлементных изоляторов. Испытание опорных одноэлементных изоляторов внутренней и наружной установки производится напряжением указанным в табл. 1. Продолжительность приложения нормированного испытательного напряжения 1 мин.

Таблица 1. **Испытательное напряжение опорных одноэлементных изоляторов**

Испытываемые изоляторы	Испытательное напряжение, кВ, для номинального напряжения электроустановки, кВ					
	3	6	10	15	20	35
Изоляторы, испытываемые отдельно	25	32	42	57	68	100
Изоляторы, установленные в цепях шин и аппаратов	24	32	42	55	65	95

б) опорных многоэлементных и подвесных изоляторов. Испытание вновь установленных штыревых и подвесных изоляторов производится на напряжении 50 кВ, прикладываемом к каждому элементу изолятора. Продолжительность приложения нормированного испытательного напряжения для изоляторов, у которых основной изоляцией являются твердые органические материалы, 5 мин, для керамических изоляторов - 1 мин.

Стеклянные подвесные изоляторы электрическим испытаниям повышенным напряжением не подвергаются, т. к. их дефекты легко обнаруживаются наружным осмотром. Испытания для опорно-стержневых изоляторов также не обязательны.

Схема испытания повышенным напряжением подвесных и многоэлементных опорных изоляторов представлена на рис. 1. Для обеспечения надежного контакта в местах подвода испытательного напряжения к элементам изолятора на последние накладываются бандажи из голого гибкого провода.

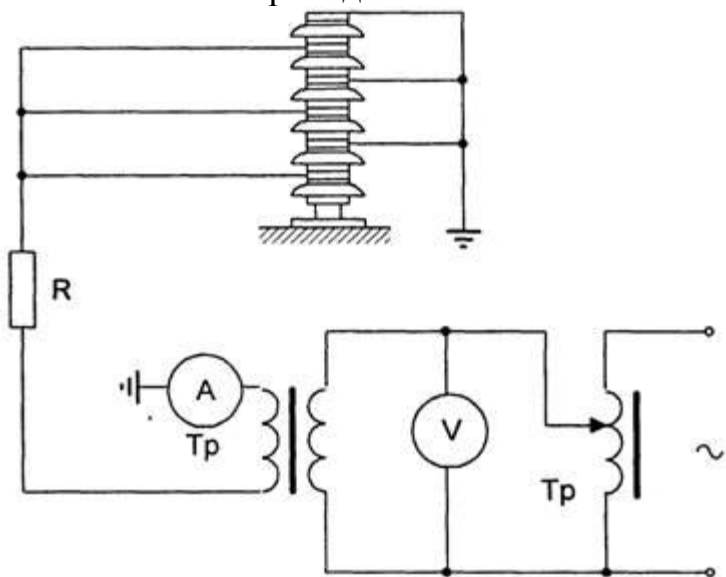
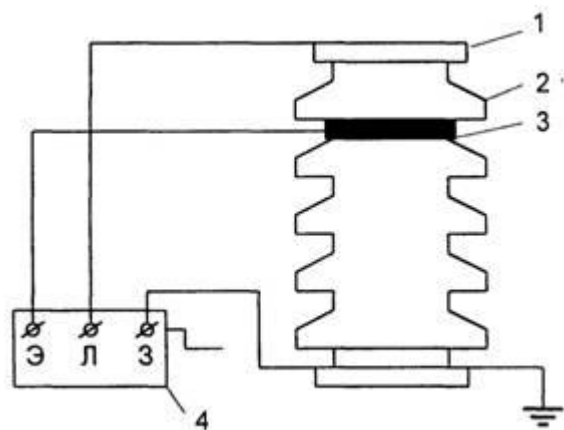


Рис. 1. Схема испытания многоэлементных изоляторов повышенным напряжением промышленной частоты.

Для ускорения испытания изоляторов используются специальные пружинящие захваты, накладываемые на элементы испытываемых изоляторов. Пробой изоляции элементов изолятора может быть отмечен по отклонению стрелки амперметра. Изоляторы считаются выдержавшими испытания, если они при этом не имели пробоя или местных нагревов изоляции. Поверхностное перекрытие изоляции при испытаниях не является причиной для браковки изоляторов и часто является следствием искажения кривой испытательного напряжения, особенно при питании испытательной установки по схеме "фаза-нейтраль". Опорно-стержневые изоляторы разъединителей и отделителей должны испытываться на изгиб посредством стягивания двух изоляторов одноименных фаз специальным приспособлением. Приспособление состоит из двухходового стяжного болта с резьбой, динамометра (например, ДПУ-500) и двух крюков. Для проведения испытаний крюки надевают на стрежни контактных втулок двух полюсов одноименных фаз разъединителя и вращением рукоятки двухходового винта стягивают изоляторы. При этом к каждому изолятору прикладывают изгибающее усилие, равное испытательной нагрузке (60% от минимального разрушающего усилия данного типа изолятора). Время приложения испытательной нагрузки 15 с. После испытания следует тщательно осмотреть изолятор на наличие трещин. О порядке испытаний повышенным напряжением следует руководствоваться указаниями.

Измерение сопротивления изоляции:

а) опорных изоляторов. Производится для исключения всех классов напряжений мегаомметром на напряжение 2,5 кВ или от источника напряжения выпрямленного тока. В случае необходимости, особенно при измерениях в сырую погоду, для исключений влияния токов утечки на показания мегаомметра на внешней поверхности изоляторов устанавливаются охранные кольца (рис. 2),



Предельные значения сопротивления изоляции приведены в табл. 2.

Рис. 2. Схема измерения изоляции изоляторов с применением колец:

1 - металлический фланец; 2 - верхнее ребро изолятора; 3 - охранный кольцо; 4 - мегаомметр.

Таблица 2. Наименьшее допустимое сопротивление опорной изоляции и изоляции подвижных частей воздушных выключателей

Испытываемый объект	Сопротивление изоляции, МОм, при номинальном напряжении выключателя, кВ		
	до 15	20-35	110 и выше
Опорный изолятор, воздухопровод и тяга (каждое в отдельности), изготовленные из фарфора	1000	5000	5000
Тяга, изготовленная из органических материалов		3000	

б) вторичных цепей, обмоток электромагнитов включения и отключения. Измерение производится со всеми присоединенными аппаратами цепей управления, защиты и сигнализации мегаомметром на напряжение 500-1000 В. Сопротивление изоляции не должно быть менее 1 МОм.

Испытание повышенным напряжением повышенной частоты:

Опорную цельнофарфоровую изоляцию испытывают напряжением промышленной частоты по нормам, приведенным в табл.

Таблица. Испытательные напряжения промышленной частоты электрооборудования классов напряжения до 35 кВ

Номинальное напряжение, кВ	Испытательное напряжение, кВ		
	На заводе изготовителе	Аппараты, КРУ и КТП	
		Перед вводом в эксплуатацию и в эксплуатации	
		Фарфоровая изоляция	Другие виды изоляции
3	24	24	21.6
6	32(37)	32(37)	28.8(33,3)

10	42(48)	42(48)	37.8(43,2)
15	55(63)	55(63)	49.5(56,7)
20	65(75)	65(75)	58.5(67,5)
35	95(120)	95(120)	85.5(108)

Продолжительность приложения нормированного испытательного напряжения 1 мин.

Нормы приемо-сдаточных испытаний.

В соответствии с требованиями ПУЭ объем приемо-сдаточных испытаний трубчатых разрядников определяет выполнение следующих работ.

1. Измерение сопротивления изоляции.
2. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь.
3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.
4. Проверка качества уплотнений вводов.
5. Испытание трансформаторного масла из маслонаполненных вводов.

Измерение сопротивления изоляции.

Производится мегаомметром на напряжение 1 - 2,5 кВ у вводов с бумажномасляной изоляцией. Измеряется сопротивление изоляции измерительной и последней обкладок вводов относительно соединительной втулки. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1000 МОм. Во избежании ошибочной отбраковки вводов рекомендуется измерение сопротивления изоляции производить с наложением кольца-экрана (см. рис. 1).

1) Измерение сопротивления изоляции вводов с бумажно-масляной изоляцией производится по схемам рис. 2, руководствуясь указаниями табл. 1.

На рисунке представлены схемы замещения изоляции маслонаполненных вводов. Принятые условные обозначения означают следующее: C_1 - основная изоляция ввода; C_2 - изоляция измерительного конденсатора; C_3 - изоляция последней обкладки относительно измерительной втулки; В ПИН – вывод потенциометрического устройства; В изм – измерительный вывод; 1 – токоведущий стержень ввода.

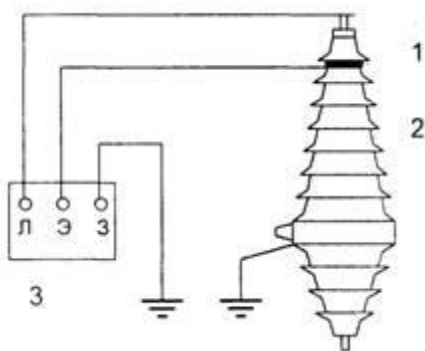
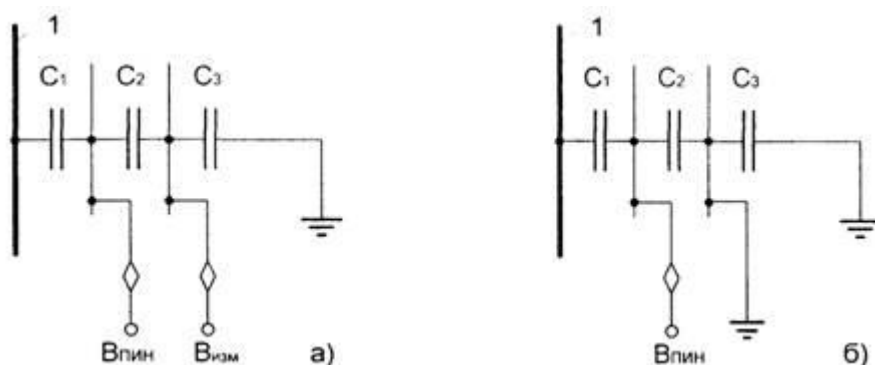


Рис. 3. Схема измерения сопротивления изоляции ввода

1 – экран-кольцо; 2 –испытываемый ввод; 3 – мегаомметр.

У вводов и проходных изоляторов, имеющих специальный вывод к потенциометрическому устройству (ПИН), производится измерение тангенса угла диэлектрических потерь основной изоляции и изоляции измерительного конденсатора. Одновременно производится и измерение емкости.

Браковочные нормы по тангенсу угла диэлектрических потерь для изоляции измерительного конденсатора те же, что и для основной изоляции. У вводов, имеющих измерительный вывод от обкладки последних слоев изоляции (для измерения $\tan \delta$), рекомендуется измерять тангенс угла диэлектрических потерь этой изоляции (при напряжении 3 кВ).



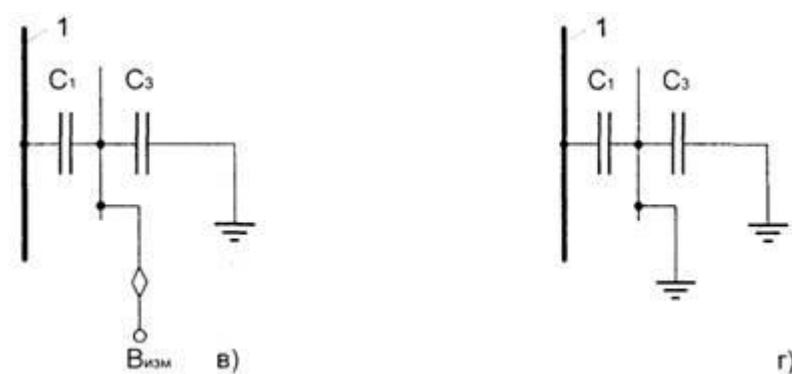


Рис. 2. Схемы замещения изоляции маслонаполненных вводов

Таблица. **Наибольший допустимый тангенс угла диэлектрических потерь основной изоляции и изоляции измерительного конденсатора вводов и проходных изоляторов при температуре +20°C**

Наименование объекта испытания и вид основной изоляции	Тангенс угла диэлектрических потерь, % при номинальном напряжении, кВ					
	3-15	20-35	60-110	150-220	330	500
Маслонаполненные вводы и проходные изоляторы с изоляцией:						
маслобарьерный	-	3,0	2,0	2,0	1,0	1,0
бумажно-масляной *	-	-	1,0	0,8	0,7	0,5
Вводы и проходные изоляторы с бакелитовой изоляцией (в том числе маслонаполненные)	3,0	3,0	2,0	-	-	-

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

Испытание является обязательным для вводов и проходных изоляторов на напряжение до 35 кВ.

Испытательное напряжение для проходных изоляторов и вводов, испытываемых отдельно или после установки в распределительном устройстве на масляный выключатель и т.п. принимается согласно табл. 4.

Таблица 4. Испытательное напряжение промышленной частоты вводов и проходных изоляторов

Номинальное напряжение, кВ	Испытательное напряжение, кВ		
	Керамические изоляторы, испытываемые отдельно	Аппаратные вводы и проходные изоляторы с основной керамической или жидкой изоляцией	Аппаратные вводы и проходные изоляторы с основной бакелитовой изоляцией
3	25	24	21.6
6	32	32	28.8
10	42	42	37.8
15	57	55	49.5
20	68	65	58.5
35	100	95	85.5

Испытание вводов, установленных на силовых трансформаторах, следует производить совместно с испытанием обмоток последних по нормам, принятым для силовых трансформаторов.

Продолжительность приложения нормированного испытательного напряжения для вводов и проходных изоляторов с основной керамической, жидкой или бумажно-масляной изоляцией 1 мин., а с основной изоляцией из бакелита или других твердых органических материалов 5 мин. Продолжительность приложения нормированного испытательного напряжения для вводов испытываемых совместно с обмотками трансформаторов, 1 мин.

Таблица: Проверки проходных изоляторов

Наименование проверки	Вид проверки	Нормативное значение	Указания
1	2	3	4
1. Измерение сопротивления изоляции	К, М	Сопротивление изоляции должно быть не менее 500 МОм	<p>Измеряется сопротивление изоляции измерительной и последней обкладок вводов с бумажно-масляной изоляцией относительно соединительной втулки.</p> <p>Измерения проводятся мегомметром напряжением 2500 В</p>
2. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ и емкости изоляции	К, М	Допустимые значения $\text{tg } \delta$ приведены в табл.	<p>Измерения проводятся у вводов с основной бумажно-масляной, бумажно-бакелитовой и твердой изоляцией.</p> <p>Измерение $\text{tg } \delta$ во вводах с маслобарьерной изоляцией (кроме малогабаритных вводов) не обязательно.</p> <p>Во вводах, имеющих вывод от потенциометрического</p>

			устройства, измеряются также $\operatorname{tg} \delta$ и емкость измерительного конденсатора
3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты	К, М	Значения испытательного напряжения приведены в табл. Вводы, установленные на силовых трансформаторах, испытываются вместе с обмотками трансформаторов по нормам, приведенными в табл.	Продолжительность испытания для вводов, испытываемых вместе с обмотками трансформаторов, а также для вводов и проходных изоляторов с основной фарфоровой, бумажно-масляной и масляной изоляцией - 1 мин, для вводов и изоляторов из органических твердых материалов и кабельных масс - 5 мин

Контрольные вопросы:

1. Перечислить возможные повреждения изоляторов.
2. Пояснить назначение проходного изолятора.
3. Пояснить назначение опорного изолятора.
4. Виды испытаний изоляторов.

Содержание отчета:

1. Название и цель практической работы.
2. Начертить схему испытаний изоляторов.

3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Перечислить техническую оснащенность при проведении испытаний изоляторов.
4. Заполнить таблицу «Нормы испытаний силовых трансформаторов»

Таблица: Испытания проходных и опорных изоляторов

Наименование испытаний	Оснащение для данного вида испытаний	Нормативное значение	Кто проводит испытания

Практическая работа.

Тема: Расчет заземляющих устройств.

Цель: Знать основные понятия о заземлении, уметь проводить расчет заземляющей конструкции.

Методические материалы.

Заземление предназначено не только для обеспечения функционирования электрооборудования, но и для обеспечения безопасности и сохранности здоровья и жизни человека при случайном возможном его контакте с токоведущими элементами конструкций электрооборудования. В ПУЭ применяют следующие понятия:

- 1) заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством;
- 2) защитное заземление - заземление, выполняемое в целях электробезопасности;
- 3) рабочее (функциональное) заземление - заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности);

4)защитное зануление в электроустановках до 1кВ - преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях 3-х фазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Различают естественные и искусственные заземлители:

- Естественными заземлителями являются находящиеся в земле металлические конструкции зданий и сооружений, трубопроводы и свинцовые оболочки кабелей.
- Искусственные заземлители выполняются из стальных заземлителей, забитых на требуемую расчетную глубину и соединенных посредством сварки стальной полосой или арматурой на глубине 0,5...0,7м. Все соединения сети заземления выполняются на сварке. Каждый заземляемый элемент подключается к сети заземления отдельным ответвлением. При устройстве заземлений надо стремиться к снижению напряжений шага и прикосновения. Достигается это благодаря контурным заземлителям с уравнительными полосами, которые позволяют равномерно распределить потенциал на всей площади. Такое заземление применяют на подстанциях.

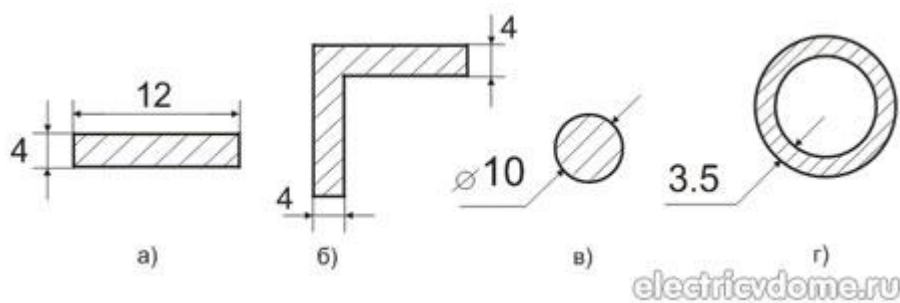
Внутренние магистрали заземления соединяются с наружным контуром в нескольких местах. Чтобы избежать большой разности потенциалов во внешней части контура, особенно в местах входа и въезда в подстанцию, закладывают дополнительно две-три стальные полосы (в форме козырька) с постепенным заглублением до 1,5...2м. Этим достигается более пологий спад потенциала и снижение напряжения шага.

1. Основные условия, которых необходимо придерживаться при сооружении заземляющих устройств это размеры заземлителей.

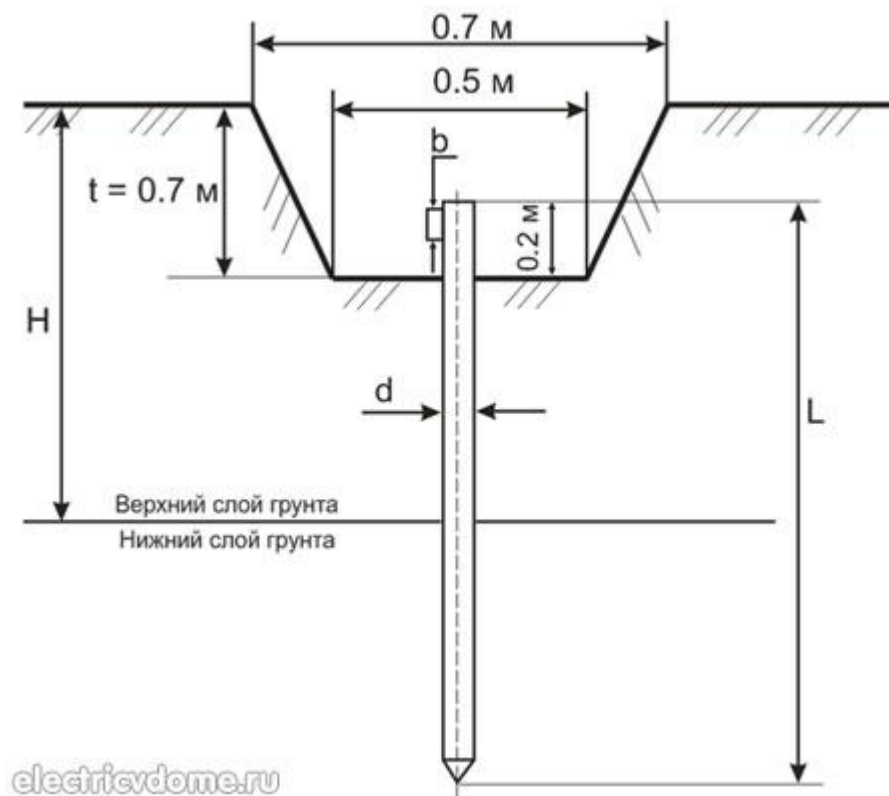
1.1. В зависимости от используемого материала (уголок, полоса, круглая сталь) **минимальные размеры заземлителей** должны быть не меньше:

- а) полоса 12х4 – 48 мм²;
- б) уголок 4х4;
- в) круглая сталь – 10 мм²;
- г) стальная труба (толщина стенки) – 3.5 мм.

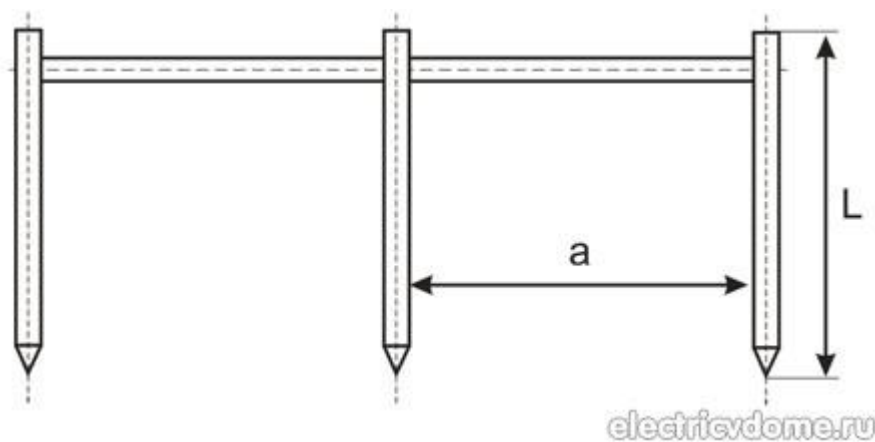
Минимальные размеры арматуры применяемые для монтажа заземляющих устройств



1.2. Длина заземляющего стержня должна быть не меньше 1.5 – 2 м.



1.3. Расстояния между заземляющими стержнями берется из соотношения их длины, то есть: $a = 1 \times L$; $a = 2 \times L$; $a = 3 \times L$.



В зависимости от позволяющей площади и удобства монтажа заземляющие стержни можно размещать в ряд, либо в виде какой ни будь фигуры (треугольник, квадрат и т.п.).

Цель расчета защитного заземления.

Основной целью расчета заземления является определить число заземляющих стержней и длину полосы, которая их соединяет.

Пример расчета заземления

Сопротивление растекания тока одного вертикального заземлителя (стержня):

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{экв}}}{2\pi \cdot L} \left(\ln \left(\frac{2L}{d} \right) + 0.5 \ln \left(\frac{4T + L}{4T - L} \right) \right)$$

где – $\rho_{\text{экв}}$ - эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом·м; L – длина стержня, м; d – его диаметр, м; T – расстояние от поверхности земли до середины стержня, м.

В случае установки заземляющего устройства в неоднородный грунт (двухслойный), эквивалентное удельное сопротивление грунта находится по формуле:

$$\rho_{\text{экв}} = \frac{\Psi \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{\left(\rho_1 (L - H + t_r) + \rho_2 (H - t_r) \right)}$$

где – Ψ - сезонный климатический коэффициент (таблица 2); ρ_1 , ρ_2 – удельное сопротивления верхнего и нижнего слоя грунта соответственно, Ом·м (таблица 1); H – толщина верхнего слоя грунта, м; t - заглубление вертикального заземлителя (глубина траншеи) $t = 0.7$ м.

Так как удельное сопротивление грунта зависит от его влажности, для стабильности сопротивления заземлителя и уменьшения на него влияния климатических условий, заземлитель размещают на глубине не менее 0.7 м.

Удельное сопротивление грунта		Таблица 1
Грунт	Удельное сопротивление грунта, Ом·м	
Торф	20	
Почва (чернозем и др.)	50	
Глина	60	

Супесь	150
Песок при грунтовых водах до 5 м	500
Песок при грунтовых водах глубже 5 м	1000

Заглубление горизонтального заземлителя можно найти по формуле:

$$T = \left(\frac{L}{2} \right) + t$$

Монтаж и установку заземления необходимо производить таким образом, чтобы заземляющий стержень пронизывал верхний слой грунта полностью и частично нижний.

Значение сезонного климатического коэффициента сопротивления грунта Таблица 2				
Тип заземляющих электродов	Климатическая зона			
	I	II	III	IV
Стержневой (вертикальный)	1.8 ÷ 2	1.5 ÷ 1.8	1.4 ÷ 1.6	1.2 ÷ 1.4
Полосовой (горизонтальный)	4.5 ÷ 7	3.5 ÷ 4.5	2 ÷ 2.5	1.5
Климатические признаки зон				
Средняя многолетняя низшая температура (январь)	от -20+15 по С	от -14+10 по С	от -10 до 0 по С	от 0 до +5 по С
Средняя многолетняя высшая температура (июль)	от +16 до +18 по С	от +18 до +22 по С	от +22 до +24 по С	от +24 до +26 по С

Количество стержней заземления без учета сопротивления горизонтального заземления находится по формуле:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{R_n}$$

R_n - нормируемое сопротивление растеканию тока заземляющего устройства, определяется исходя из правил ПТЭЭП (Таблица 3).

Наибольшее допустимое значение сопротивления заземляющих устройств (ПТЭЭП) Таблица 3		
Характеристика электроустановки	Удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м	Сопротивление Заземляющего устройства, Ом
Искусственный заземлитель к которому		

присоединяется нейтрали генераторов и трансформаторов, а также повторные заземлители нулевого провода (в том числе во вводах помещения) в сетях с заземленной нейтралью на напряжение, В:		
660/380	до 100	15
	свыше 100	$0.5 \cdot \rho$
380/220	до 100	30
	свыше 100	$0.3 \cdot \rho$
220/127	до 100	60
	свыше 100	$0.6 \cdot \rho$

Как видно из таблицы нормируемое сопротивление для нашего случая должно быть не больше 30 Ом. Поэтому R_n принимается равным $R_n = 30$ Ом.

Сопротивление растекания тока для горизонтального заземлителя:

$$R_r = 0.366 \left(\frac{\rho_{\text{эКВ}} \cdot \Psi}{L_r \cdot \eta_r} \right) \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot L_r^2}{b \cdot t} \right)$$

L_r , b – длина и ширина заземлителя; Ψ – коэффициент сезонности горизонтального заземлителя; η_r – коэффициент спроса горизонтальных заземлителей (таблица 4).

Длину самого горизонтального заземлителя найдем исходя из количества заземлителей:

$$L_r = a \cdot (n_0 - 1) \quad - \text{в ряд}; \quad L_r = a \quad - \text{по контуру}.$$

a – расстояние между заземляющими стержнями.

Определим сопротивление вертикального заземлителя с учетом сопротивления растеканию тока горизонтальных заземлителей:

$$R_B = \frac{R_r \cdot R_n}{(R_r - R_n)}$$

Полное количество вертикальных заземлителей определяется по формуле:

$$n = \frac{R_0}{R_B \cdot \eta_B}$$

η_B – коэффициент спроса вертикальных заземлителей (таблица 4).

Коэффициент использования заземлителей

Таблица 4

Для горизонтальных заземлителей				Для вертикальных заземлителей			
Число электродов	По контуру			Число электродов	По контуру		
	Отношение расстояния между электродами к их длине a/L				Отношение расстояния между электродами к их длине a/L		
	1	2	3		1	2	3
4	0.45	0.55	0.65	4	0.69	0.78	0.85
5	0.4	0.48	0.64	6	0.62	0.73	0.8
8	0.36	0.43	0.6	10	0.55	0.69	0.76
10	0.34	0.4	0.56	20	0.47	0.64	0.71
20	0.27	0.32	0.45	40	0.41	0.58	0.67
30	0.24	0.3	0.41	60	0.39	0.55	0.65
50	0.21	0.28	0.37	100	0.36	0.52	0.62
70	0.2	0.26	0.35	-	-	-	-
100	0.19	0.24	0.33	-	-	-	-
Число электродов	В ряд			Число электродов	В ряд		
	Отношение расстояния между электродами к их длине a/L				Отношение расстояния между электродами к их длине a/L		
	1	2	3		1	2	3
4	0.77	0.89	0.92	2	0.86	0.91	0.94
5	0.74	0.86	0.9	3	0.78	0.87	0.91
8	0.67	0.79	0.85	5	0.7	0.81	0.87
10	0.62	0.75	0.82	10	0.59	0.75	0.81
20	0.42	0.56	0.68	15	0.54	0.71	0.78
30	0.31	0.46	0.58	20	0.49	0.68	0.77
50	0.21	0.36	0.49	-	-	-	-
65	0.2	0.34	0.47	-	-	-	-

Коэффициент использования показывает как влияют друг на друга токи растекания с одиночных заземлителей при различном расположении последних. При соединении параллельно, токи растекания одиночных заземлителей оказывают взаимное влияние друг на друга, поэтому чем ближе расположены друг к другу заземляющие стержни тем общее сопротивление заземляющего контура больше.

Полученное при расчете число заземлителей округляется до ближайшего большего.

Расчет заземляющих устройств

Расчет сводится к определению сопротивления растеканию тока заземлителя, которое зависит от проводимости грунта, конструкции заземлителя и глубины его заложения. Проводимость грунта характеризуется его удельным сопротивлением ρ (Ом*см): сопротивление между противоположными сторонами кубиками грунта с ребрами 1см. Удельное сопротивление зависит от характера и строения грунта, его влажности, глубины промерзания и может колебаться в широких пределах. Обычно в расчет принимают следующие средние значения удельных сопротивлений грунта (Ом*см):

глина, садовая земля.....	$4 \cdot 10^3$
чернозем.....	$5 \cdot 10^3$
суглинок, каменистая глина.....	$10 \cdot 10^3$
щебень с песком, каменистая почва.....	$20 \cdot 10^3$
супесь.....	$30 \cdot 10^3$
песок с галькой.....	$80 \cdot 10^3$

При промерзании грунта электропроводность его ухудшается и удельное сопротивление возрастает. Поэтому в расчет нужно вводить поправку K_m - коэффициент сезонности, величина которого определяется в зависимости от климатической зоны. Коэффициент сезонности приведен в таблице:

табл.1. Значения коэффициента сезонности K_m

климатические зоны	средняя многолетняя температура, °С		продолжительность замерзания вод, сутки	коэффициент K_m
	низшая (январь)	высшая (июль)		
1	от -20 до -15	от +16 до +18	170...190	1,9/5,8
2	от -15 до -10	от +18 до +22	150	1,7/4,0
3	от -10 до 0	от +22 до +24	100	1,5/2,3
4	от 0 до +5	от +24 до +26	0	1,3/1,8

Числитель в последнем столбце - для вертикальных заземлителей с заложением их вершин на глубине 0,5...0,7м от поверхности земли; знаменатель - для горизонтальных заземлителей при глубине заложения 0,3...0,8м. При удельных сопротивлениях грунта более $20 \cdot 10^3$ Ом*см необходимо устанавливать углубленные заземлители или принимать меры для снижения величины ρ . Сопротивление (в Омах) одиночного вертикального заземлителя (из круглого стержня) растеканию тока определяется по формуле:

$$R_{0,в} = \frac{0,366}{l} \times \rho \times K_m \left(\log \frac{2 \times l}{d} + 0,5 \times \log \frac{4 \times t + l}{4 \times t - l} \right)$$

где ρ - удельное сопротивление грунта, Ом*см; K_m - коэффициент сезонности; l - длина заземлителя, см; d - диаметр стержня, см;

t - глубина заложения (от поверхности земли до середины длины стержня), см. Если вместо круглого стержня используется угловая сталь, то $d = 0,95b$, где b - ширина полка уголка. При ориентировочных расчетах сопротивление одиночного заземлителя можно с достаточной точностью определять как $R_{о.в} \approx 0,003 \times \rho \times K_m$. Сопротивление (в Ом)

$$R'_r = \frac{0,366}{l_r} \times \rho \times K_m \times \log \frac{2 \times l_r^2}{b \times t}$$

горизонтального заземлителя:

где l_r - длина заземлителя, см; b - ширина полосового заземлителя, см; t - глубина его заложения, см. Сопротивление заземлителя из нескольких

$$R_3 = \frac{R_в \times R_r}{R_в + R_r}$$

электродов, соединенных полосой:

Суммарное

$$R_в = \frac{R_{о.в}}{n \times \eta_в}$$

сопротивление всех вертикальных электродов составит:

где n - число электродов; $\eta_в$ - коэффициент использования электрода, характеризующий степень использования его поверхности из-за экранирующего влияния соседних электродов (см. таблицу).

табл.2. Значения коэффициента использования количество вертикальных заземлителей отношение a/l (a - расстояние между заземлителями; l - длина заземлителя)

	1 $\eta_в$	2 η_r	3 $\eta_в$	η_r	$\eta_в$	η_r
4	0,69/0,74	0,45/0,77	0,78/0,83	0,55/0,89	0,85/0,88	0,70/0,92
6	0,62/0,63	0,40/0,77	0,73/0,77	0,48/0,83	0,80/0,83	0,64/0,88
10	0,55/0,59	0,34/0,62	0,69/0,75	0,40/0,75	0,76/0,81	0,56/0,82
20	0,47/0,49	0,27/0,42	0,64/0,68	0,32/0,56	0,71/0,77	0,45/0,68
30	0,43/0,43	0,24/0,31	0,60/0,65	0,30/0,46	0,68/0,75	0,41/0,58

В таблице числитель - значения при размещении вертикальных заземлителей по замкнутому контуру; в знаменателе - при расположении их в ряд. Для горизонтальных полос, связывающих вертикальные электроды, сопротивление растеканию тока с учетом экранирования определяется по

$$R_r = \frac{R'_r}{\eta_r}$$

формуле: где η_r - коэффициент использования горизонтальной полосы с учетом экранирующего влияния вертикальных электродов.

пример расчета заземления.

Выполнить контур защитного заземления цеховой подстанции с двумя трансформаторами 630 кВА на напряжении 10/0,4кВ. Протяженность электрически связанных кабельных линий 10кВ предприятия составляет 18 км. Грунт - суглинок, климатическая зона - 3.

Решение.

Ток однофазного короткого замыкания для сетей свыше 1000 В с

изолированной нейтралью определяется по формуле:

$$I_3 = U \times \left(\frac{l_{\text{в}}}{350} + \frac{l_{\text{к}}}{10} \right),$$

где U - междуфазное напряжение (в киловольтах); $l_{\text{в}}$ и $l_{\text{к}}$ - длины электрически связанных воздушных ($l_{\text{в}}$) и кабельных ($l_{\text{к}}$) линий сети данного напряжения (в километрах).

Отсюда находим значение тока однофазного короткого замыкания на

$$I_3 = \frac{10 \times 18}{10} = 18 \text{ А}$$

землю:

Сопротивление заземлителя растеканию тока на напряжении 10кВ

$$R_3 = \frac{250}{I_3}$$

определяется как:

Таким образом, $R_3 = 250 / 18 = 13,88 \text{ Ом}$. В соответствии с ПУЭ сопротивление заземлителей у электроустановок напряжением 10кВ должно быть не более 10 Ом, а с напряжением 0,4/0,23кВ - не более 4 Ом. Расчетным принимается всегда сопротивление заземления для меньшего напряжения. Таким образом, принимаем $R_3 = 4 \text{ Ом}$.

После этих расчетов необходимо определиться с материалом заземлителей. Мы будем выполнять свои заземлители из круглых стальных электродов диаметром 12мм и длиной 5м. Размещаем электроды в ряд и соединяем их полосой из круглой стали диаметром 12мм. А эту полосу заложим на глубине 0,6м. Сопротивление одного электрода найдем по вышеприведенной формуле $R_{\text{о.в}} \approx 0,003 \times \rho \times K_{\text{м}}$.

Для суглинка $\rho = 10 \times 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. А по значениям коэффициента сезонности в табл.1 $K_{\text{м}} = 1,5$. Отсюда $R_{\text{о.в}} = 0,003 \times 10 \times 10^3 \times 1,5 = 45 \text{ Ом}$. Далее приняв отношение $a/l = 1$ по табл.2 определяем для $n=20$ коэффициент использования $\eta_{\text{в}} = 0,47$.

Находим суммарное сопротивление всех электродов по формуле

$$R_{\text{в}} = \frac{R_{\text{о.в}}}{n \times \eta_{\text{в}}}.$$

Отсюда $R_{\text{в}} = 45 / (20 \times 0,47) = 4,8 \text{ Ом}$.

Протяженность заземлителя $l_{\text{г}} = (n - 1) \cdot a = 19 \cdot 5 = 95 \text{ м}$.

Далее по формуле $R'_r = \frac{0,366}{l_r} \times \rho \times K_m \times \log \frac{2 \times l_r^2}{b \times t}$ находим сопротивление

горизонтального заземлителя, а далее по формуле $R_r = \frac{R'_r}{\eta_r}$ сопротивление соединительной полосы с учетом экранирования. η_r берем из табл.2 для ранее принятых значений $n = 20$ и $a/l = 1$. Это значение составит $\eta_r = 0,27$. Посчитав, получим $R_r = 22,6$ Ом.

И, наконец, находим по формуле $R_z = \frac{R_s \times R_r}{R_s + R_r}$ сопротивление нашего заземлителя из нескольких электродов, соединенных полосой, растеканию тока.

Получим $R_z = \frac{4,8 \times 22,6}{4,8 + 22,6} = 3,9$ Ом, что меньше минимально необходимой величины 4 Ом.

В заключение следует сказать, что подобная задача решается подбором материала и его количеством. Поэтому, если у вас величина получившегося контура получилась больше необходимого значения, следует взять стальные прутья или уголки большей длины и/или большего количества и снова пересчитать до получения необходимого результата.

Варианты для задания:

Выполнить расчет защитного заземления данной трансформаторной подстанции на напряжение 10/0,4кВ. Известна протяженность L электрически связанных кабельных линий 10кВ, тип почвы, климатическая зона.

№	Стр., кВА	Тип почвы	L, км	климатическая зона
1	250	песок	5	2
2	100	глина	8	3
3	160	глина	11	3
4	40	песок	4	2
5	63	щебень с песком	7	2
6	160	суглинок	9	3
7	400	песок	12	2
8	250	глина	10	3
9	25	песок	5	2
10	100	глина	7	3
11	40	щебень с песком	9	2
12	160	глина	8	3

13	63	песок	6	2
14	100	глина	7	3
15	250	щебень с песком	13	2
16	25	песок	8	2
17	160	глина	9	3
18	400	щебень с песком	7	2
19	63	глина	14	3
20	100	песок	15	2

Практическая работа

Тема: Защита силовых трансформаторов предохранителями.

Цель: уметь проводить расчет защиты силового трансформатора.

В трансформаторах и в соединениях их с другими элементами систем электроснабжения могут возникать следующие аварийные режимы: междуфазные короткие замыкания в обмотках и на выводах, однофазные короткие замыкания на землю при работе в сетях с заземленной нейтралью и между витками обмотки. К ненормальным режимам относят: перегрузку и внешние короткие замыкания. Большинство трансформаторов на напряжение 6...10кВ мощностью до 630кВА защищают плавкими предохранителями. Для трансформаторов 6...10/0,4кВ используют предохранители ПКТ-10, для трансформаторов 35/10кВ – ПВТ-35.

При защите трансформаторов плавкими предохранителями они должны удовлетворять следующим условиям:

- номинальное напряжение предохранителей и их плавких вставок должно быть равно номинальному напряжению сети: $U_{н.пр.} = U_{н.с.}$
- номинальный ток отключения предохранителя должен равняться или быть больше максимального тока короткого замыкания в месте установки предохранителя:

$$I_{н.о.} \geq I^{(3)}_{к.мах.}$$

- номинальный ток плавкой вставки для предохранителей, защищающих трансформаторы напряжением 6 и 10 кВ со стороны высшего напряжения

$$I_{в.н.} \approx (2 \dots 3) I_{н.тр.}$$

- $I_{в.н.}$ принимается по стандартному табличному значению (Л.1.с.209).

- минимально допустимое время действия предохранителя тв. должно быть меньше допустимого времени протекания тока короткого замыкания по трансформатору $t_{доп.}$: $t_{в.} < t_{доп.}$.

Время перегорания плавкой вставки можно определить по ампер-секундной характеристике предохранителей (Л.1.с.210). Для этого необходимо определить возможный ток короткого замыкания:

$$I_{к.расч.} = K_n \cdot I_{к.н.} / K_T.$$

где $K_n = 1,3$ – коэффициент надежности;

$K_u = U_1 / U_2$ – коэффициент трансформации по напряжению;

$I_{к.н.}$ – ток трехфазного короткого замыкания на стороне низшего напряжения трансформатора

Пример расчета:

Подобрать плавкую вставку предохранителя для защиты силового трансформатора напряжением 35/10 кВ и определить время перегорания вставки.

Данные:

$$S_{н.т.} = 2500 \text{ кВА}; \quad I^{(3)}_{к.н.} = 1,85 \text{ кА}.$$

Решение:

1. Номинальный ток трансформатора на стороне 35 кВ

$$I_{н.т.} = S_{н.т.} / \sqrt{3} \cdot U_{в.н.} = 2500 / 1,73 \cdot 35 = 41,2 \text{ А}.$$

1. Выбираем плавкую вставку из условия

$$I_{в.н.} \approx (2 \dots 3) I_{н.тр.} = (2 \dots 3) 41,2 = (82,4 \dots 123,6) \text{ А}.$$

Принимаем вставку $I_{в.н.} = 100 \text{ А}$. Предохранитель ПВ-35-100.

3. Расчетный ток короткого замыкания на стороне 35 кВ

$$I_{к.расч.} = K_n \cdot I_{к.н.} / K_T = 1,3 \cdot 1,85 / 3,5 = 0,687 \text{ кА} = 687 \text{ А}.$$

4. По ампер-секундной характеристике определяем время перегорания вставки

$$t_{в.} = 0,5 \text{ сек.}$$

5. Допустимое время протекания тока к.з. по трансформатору $t_{доп.} = 900 / K^2$

где $K = I_{к.расч.} / I_{н.т.}$ – кратность возрастания тока при коротком замыкании.

$$K = 687 / 41,2 = 16,7; \quad t_{доп.} = 900 / 16,7^2 = 3,2 \text{ сек.}$$

Так как $t_{в.} = 0,5 \text{ сек} < t_{доп.} = 3,2 \text{ сек.}$, то термическая устойчивость трансформатора будет обеспечена.

Варианты для 4 задания:

Подобрать плавкую вставку предохранителя для защиты силового трансформатора напряжением 10/0,4 кВ. Начертить участок однолинейной схемы защиты силового трансформатора.

№	$I_{к.н.}, \text{кА}$	$S_{н.т.}, \text{кВА}$
1	1,5	100
2	1,9	160
3	2,3	250
4	1,1	63
5	0,95	40
6	3,4	400
7	0,89	25
8	4,5	630
9	1,75	100
10	2,5	250
11	2,1	160
12	1,67	63
13	0,97	40
14	0,88	25

15	5,2	630
16	4,3	400
17	2,2	100
18	1,7	160
19	3,1	250
20	1,45	63

Практическая работа

Тема: Испытания электродвигателя при вводе в эксплуатацию.

Цель работы: Изучить виды приемосдаточных испытаний при вводе в эксплуатацию асинхронного электродвигателя.

Методическая часть работы

Все вводимые в эксплуатацию асинхронные двигатели обязательно необходимо подвергать приемосдаточным испытаниям, согласно ПУЭ, в следующем объеме.

1. Определение возможности включения асинхронных электродвигателей напряжением выше 1000 В без сушки.
2. Измерение сопротивления изоляции электродвигателей:
 - а) обмотки статора асинхронного электродвигателя напряжением до 1000 В мегомметром на напряжение 1000 В (R_{60} должно быть не менее 0,5 МОм при 10 - 30 °С),

б) обмотки ротора асинхронных электродвигателей с фазовым ротором мегомметром на напряжение 500 В (сопротивление изоляции должно быть не менее 0,2 МОм),

в) термодатчиков мегомметром на напряжение 250 В (сопротивление изоляция не нормируется),

3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты

4. Измерение сопротивления постоянному току:

а) обмоток статора и ротора асинхронных электродвигателей мощностью 300 кВт и более (разница между измеренными сопротивлениями обмоток различных фаз или между измеренными и заводскими данными допускается не более 2 %),

б) у реостатов и пускорегулировочных сопротивлений измеряется общее сопротивление и проверяется целостность отпаяек. Разница между измеренным сопротивлением и паспортными данными допускается не более 10 %.

Смотрите здесь: Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателя постоянному току

5. Измерение зазоров между сталью ротора и статора. Разница между воздушными зазорами в диаметрально противоположных точках или точках, сдвинутых относительно оси ротора на 90°, и средним воздушным зазором допускается не более 10 %.

6. Измерение зазоров в подшипниках скольжения.

7. Измерение вибрации подшипников электродвигателя.

Смотрите здесь: Как устранить вибрацию электродвигателя

8. Измерение разбега ротора в осевом направлении для электродвигателей, имеющих подшипники скольжения (допустимо значение разбега 2 - 4 мм).

9. Испытание воздухоохладителя гидравлическим давлением 0,2 - 0,25 МПа (2 - 2,5 кгс/см²). Продолжительность испытания 10 мин.

10. Проверка работы асинхронного электродвигателя на холостом ходу или с ненагруженным механизмом. Значение тока холостого хода

электродвигателя не нормируется. Продолжительность проверки не менее 1 ч.

11. Проверка работы асинхронного электродвигателя под нагрузкой. Производится при мощности, потребляемой электродвигателем из сети, обеспечиваемой технологическим оборудованием к моменту сдачи в эксплуатацию. При этом для электродвигателей с регулируемой частотой вращения определяются пределы регулирования.

При наладке электродвигателей также часто возникает необходимость в дополнительных испытаниях и измерениях.

Измерение сопротивления изоляции. Допустимые значения сопротивления изоляции электродвигателей напряжением выше 1 кВ должны соответствовать требованиям инструкции, указанной в п. 1. В остальных случаях сопротивление изоляции должно соответствовать нормам, приведенным в табл. 1.

Таблица 1. Допустимое сопротивление изоляции электродвигателей переменного тока.

Испытуемый объект	Напряжение мегаомметра, кВ	Сопротивление изоляции
Обмотка статора напряжением до 1 кВ	1	Не менее 0,5 МОм при температуре 10-30 °С
Обмотка ротора синхронного электродвигателя и электродвигателя с фазным ротором	0,5	Не менее 0,2 МОм при температуре 10-30 °С (допускается не ниже 2 кОм при +75 °С или 20 кОм при +20 °С для неявнополюсных роторов)

Термоиндикатор	0,25	Не нормируется
Подшипники синхронных электродвигателей напряжением выше 1 кВ	1	Не нормируется (измерение производится относительно фундаментной плиты при полностью собранных маслопроводах)

Вводимые в эксплуатацию двигатели переменного тока необходимо подвергать приемосдаточным испытаниям, согласно ПУЭ, в следующем объеме.

1. Определение возможности включения электродвигателей напряжением выше 1000 В без сушки.

2. Измерение сопротивления изоляции:

а) обмотки статора электродвигателя напряжением до 1000 В мегомметром на напряжение 1000 В (R_{60} должно быть не менее 0,5 МОм при 10-30°C);

б) обмотки ротора электродвигателей с фазовым ротором мегомметром на напряжение 500 В (сопротивление изоляции должно быть не менее 0,2 МОм);

в) термодетекторов мегомметром на напряжение 250 В (сопротивление изоляции не нормируется); г) подшипников синхронных электродвигателей напряжением выше 1000 В (сопротивление изоляции не нормируется).

Сопротивление изоляции обмоток электродвигателей напряжением выше 1000 В не нормируется.

3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

4. Измерение сопротивления постоянному току:

а) обмоток статора и ротора электродвигателей мощностью 300 кВт и более (разница между измеренными сопротивлениями обмоток различных фаз или между измеренными и заводскими данными допускается не более 2%);

б) у реостатов и пускорегулировочных сопротивлений измеряется общее сопротивление и проверяется целостность отпаяк. Разница между измеренным сопротивлением и паспортными данными допускается не более 10 %.

5. Измерение зазоров между сталью ротора и статора. Разница между воздушными зазорами в диаметрально противоположных точках или точках,

сдвинутых относительно оси ротора на 90° , и средним воздушным зазором допускается не более 10 %.

6.Измерение зазоров в подшипниках скольжения.

7.Измерение вибрации подшипников электродвигателя.

8. Измерение разбега ротора в осевом направлении для электродвигателей, имеющих подшипники скольжения (допустимо значение разбега 2—4 мм).

9. Испытание воздухоохладителя гидравлическим давлением 0,2— 0,25 МПа (2-2,5 кгс/см²). Продолжительность испытания 10 мин.

10. Проверка работы электродвигателя на холостом ходу или с ненагруженным механизмом. Значение тока холостого хода электродвигателя не нормируется. Продолжительность проверки не менее 1 ч.

11. Проверка работы электродвигателя под нагрузкой. Производится при мощности, потребляемой электродвигателем из сети, обеспечиваемой технологическим оборудованием к моменту сдачи в эксплуатацию. При этом для электродвигателей с регулируемой частотой вращения определяются пределы регулирования.

2.4.2. Измерение сопротивления изоляции

Надежность работы оборудования электроустановок в значительной степени определяется надежностью электрической изоляции. Это подтверждается данными эксплуатации электрических машин и аппаратов.

Анализ показывает, что основной причиной брака или выхода электрооборудования из строя является неудовлетворительное состояние изоляции. Такое положение обуславливается большей по сравнению с металлами чувствительностью изоляции к тепловым и механическим нагрузкам из-за менее высоких механических свойств изоляции и меньшей теплостойкости по сравнению с металлами. На изоляцию, кроме того, действует электрическое поле, вызывающее постепенное разрушение ее.

Условия и характер работы электрооборудования и, следовательно, изоляции разнообразны. В период эксплуатации изоляция электрооборудования подвергается воздействию нагрева, электрического поля, механических

нагрузок, агрессивных сред, климатических факторов, различных излучений и т. п. Особенно разнообразны механические нагрузки: термомеханические, действующие в обмотках крупных электрических машин вдоль стержня и вызывающие напряжения растяжения и сжатия в изоляции и напряжения сдвига на границе медь—изоляция; электродинамические, вызывающие появление в изоляции изгибающих деформаций, пульсирующего, ударного сжатия и т. п.

Для малогабаритных машин на напряжение до 1000 В, работающих в стационарных режимах, уровень механических нагрузок оказывается сравнительно небольшим, градиенты электрического поля невелики и не могут вызвать электрического старения. В этих условиях наиболее опасным для изоляции оказывается тепловое воздействие.

В электрических машинах на напряжение 6 кВ и выше кроме нагрева к числу опасных факторов должно быть отнесено электрическое поле. В прокатных электродвигателях, работающих в режимах реверсирования, кроме нагрева важным фактором являются механические нагрузки и коммутационные перенапряжения при пусках.

Существенное влияние на срок службы изоляции оказывает и окружающая среда—температура воздуха и особенно влажность, а также загрязненность среды пылью и агрессивными газами. Это главным образом относится к изоляции, состоящей из волокнистых органических материалов, характеризующихся значительной влагопоглощаемостью вследствие пористости. Проникновение влаги резко ухудшает диэлектрические свойства изоляции и вызывает необходимость ее сушки. Контроль за состоянием изоляции является одним из главных вопросов эксплуатации электроустановок.

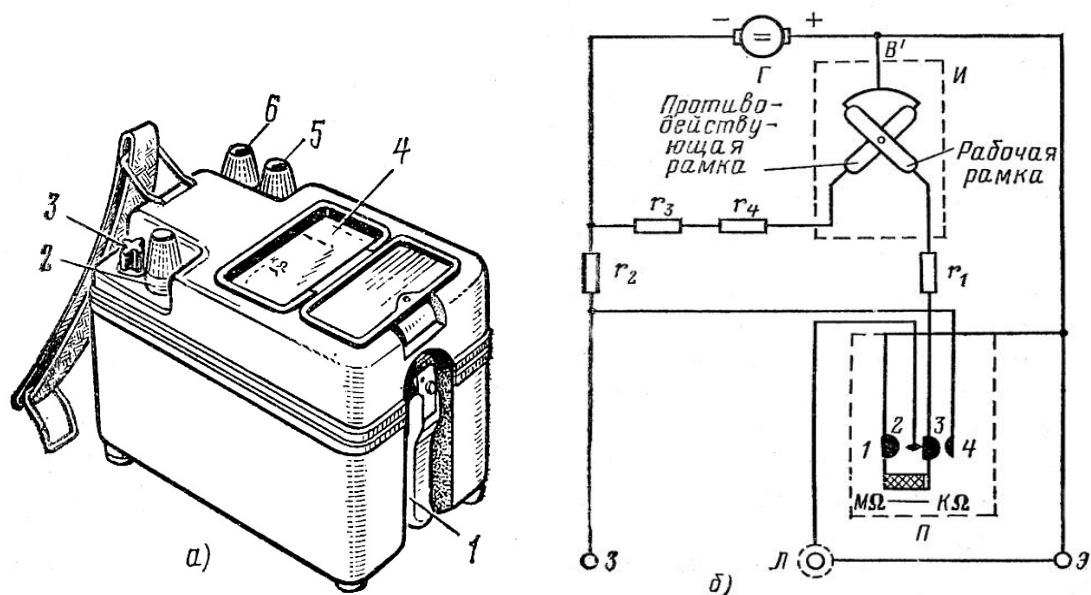


Рис. 2.27. Внешний вид (а) мегаомметра типа М1101М, принципиальная схема (б): 1—рукоятка; 2—экран (3); 3— переключатель пределов измерений; 4—шкала прибора; 5 — земля (З); 6 — линия (Л)

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром. Для измерения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции электрооборудования применяются мегаомметры. Измерительный прибор, измеряющий ток или отношение токов, должен быть очень чувствительным, а напряжение источника тока должно быть возможно большим. Например, при измерении сопротивления 200 МОм и напряжении источника тока 1000 В ток в цепи будет $I_{\text{изм}} = 1000 / (200 \cdot 10^6) = 5 \text{ мкА}$. Следовательно, переносный измеритель сопротивления изоляции — мегаомметр должен состоять из чувствительного логометрического измерителя и автономного источника постоянного тока повышенного напряжения. В качестве источника тока в мегаомметрах принимают обычно небольшие генераторы постоянного тока с ручным или моторным приводом. Напряжение на зажимах генератора зависит от скорости вращения якоря, а при ручном приводе неизбежны колебания частоты вращения якоря и, следовательно, колебания напряжения. При измерении сопротивления изоляции обмоток машин с небольшой емкостью эти колебания напряжения практически не влияют на результат измерения. Однако если производится измерение сопротивления изоляции обмоток крупных электрических машин, то колебания напряжения, вызванные изменением частоты вращения якоря, приводят к колебаниям стрелки логометра и делают невозможным такое измерение. Колебания стрелки обь-

ясняются зарядно-разрядными токами емкости объекта, проходящими через токовую рамку логометра в сторону источника тока при уменьшении напряжения генератора и в сторону объекта при повышении напряжения. Для исключения таких колебаний привод генератора снабжается центробежным регулятором скорости. Если ручка привода вращается с номинальной частотой вращения (120 об/мин) или немного превышающей номинальную, регулятор вступает в действие и поддерживает практически неизменными частоту вращения якоря и, следовательно, напряжение генератора. В некоторых случаях с успехом применяются мегаомметры с моторным приводом или с выпрямительными устройствами, питаемыми от сети переменного тока.

Последовательность операций при работе с мегаомметром. Перед измерением на месте должна быть проверена исправность мегаомметра. Для этого мегаомметр устанавливают в горизонтальное положение на твердом и ровном основании, зажимы *Л* и *З* замыкают накоротко, вращают рукоятку привода генератора с частотой 120 об/мин и проверяют совпадение стрелки с нулевой отметкой. Затем при разомкнутых зажимах вращают рукоятку привода генератора с той же частотой. При этом стрелка измерителя должна быть установлена на отметку ∞ . Необходимо иметь в виду, что стрелка исправного мегаомметра, пока он не присоединен и пока рукоятку не вращают, может занимать какое угодно положение, так как у логометра нет пружин, устанавливающих стрелку на нуль. При измерении допускают несовпадение стрелки измерителя с конечными отметками шкалы до ± 1 мм, но такой прибор следует направить на проверку.

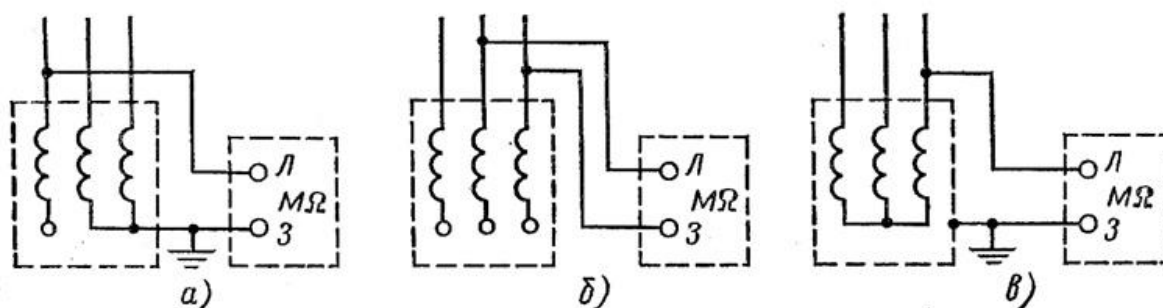


Рис. Схемы измерения сопротивления изоляции обмоток электрических машин:

а — измерение изоляции фазы относительно корпуса и других заземленных

фаз;

б — измерение изоляции между обмотками;

в — измерение изоляции соединительных обмоток по отношению к корпусу

Для присоединения мегаомметра к испытуемым объектам применяются гибкие провода, например марки ПРГ, необходимой длины и требуемого сечения. Провода должны иметь на концах щупы с изолированными рукоятками и ограничительным кольцом по условиям техники безопасности.

Перед началом работ по измерению сопротивления изоляции необходимо отключить испытуемое электрооборудование от сети и принять меры для исключения подачи напряжения на объект; вывесить плакаты по технике безопасности в соответствии с требованиями действующих Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей; разрядить электрооборудование от емкостного тока на землю; снять защитные заземления и закоротки на время измерений. Схемы присоединения мегаомметра приведены на рис.

Показание мегаомметра в начале вращения рукоятки почти всегда меньше установившегося показания за счет емкости. Поэтому решено при измерении сопротивления изоляции принимать показания мегаомметра через 60 с после приложения напряжения $R_{60''}$. В этом случае считают, что абсорбционный ток в основном уже прекратился. При испытании объектов с малой емкостью (линейные изоляторы, короткие участки сети и т. д.) можно пренебречь абсорбционными токами и производить один отсчет через 15 с после начала вращения рукоятки мегаомметра ($R_{15''}$).

В некоторых случаях сопротивление изоляции требуется измерять дважды. Перед повторным измерением или после окончания испытаний изоляции испытуемая обмотка должна быть разряжена, а потенциал высокого напряжения должен быть снят, так как в противном случае эти заряды, сохраняясь продолжительное время, могут служить причиной поражения эксплуатационного персонала при прикосновении к выводам обмоток. Кроме того, если не будет сделана такая разрядка на корпус машины, то неизбежно появится большая погрешность в показаниях мегаомметра в сторону завышения. Поэтому по окончании измерения сопротивления изоляции каждой электрически независимой цепи следует разряжать ее на заземленный корпус машины. При этом для обмоток на номинальное напряжение 3000 В и выше продолжительность разряда должна быть для

машин мощностью до 1000 кВА не менее 15 с и для машин мощностью более 1000 кВА - не менее 1 мин. По окончании измерения сопротивления изоляции всех обмоток машины следует повторно проверить исправность прибора.

Сопротивление изоляции зависит от температуры обмотки, и с увеличением температуры оно резко уменьшается. Приблизительно можно принять, что сопротивление изоляции меняется примерно в 2 раза на каждые 20 °С изменения температуры. Из опыта наладки новых электрических машин, вводимых в эксплуатацию, следует, что сопротивление изоляции, измеренное при температуре около 20°С, находится в пределах 5—100 МОм.

По ПУЭ для обмоток электродвигателей переменного тока номинальное допустимое сопротивление изоляции определяется согласно табл. 2.1., а допустимые значения сопротивления изоляции, МОм, обмоток при рабочей температуре электрической машины около 70 °С определяются не ниже значения

$$R_{из60"} \geq \frac{U_{ном}}{1000 + 0,01S_{ном}},$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение обмотки электродвигателя В;

$S_{ном}$ - номинальная мощность машины, кВ·А (для машин постоянного тока, кВт).

В большинстве случаев измерить сопротивление изоляции при рабочей температуре машины невозможно даже сразу после окончания ее испытания, потому что за время, протекающее с момента окончания испытания до момента измерения, температура успевает заметно снизиться. В связи с этим формула (2.33) не может быть применена при измерении сопротивления изоляции в холодном состоянии. Поэтому стандарт предписывает удваивать значение, вычисленное по формуле, на каждые 20 °С (полные или неполные) разности между рабочей температурой обмотки и той температурой, при которой производится измерение; для этого требуется производить измерение температуры обмотки при измерении сопротивления ее изоляции. Например, при измерении сопротивления изоляции в холодном состоянии,

если машина продолжительное время находилась в помещении практически с неизменной температурой, за температуру обмотки может быть принята температура окружающей среды. За рабочую температуру принимают 75°C . Если сопротивление изоляции обмотки было измерено при другой температуре, но не ниже 10°C , оно может быть пересчитано на температуру 75°C по табл. 2.2.

Для электродвигателей, находящихся в эксплуатации, основным критерием оценки состояния изоляции являются результаты измерения ее сопротивления и сравнение полученных данных с предыдущими измерениями. Сравнивают сопротивления изоляции различных фаз одной обмотки по результатам данных измерений с данными предыдущих измерений. Расхождения в сопротивлении изоляции различных фаз свидетельствуют обычно о дефекте изоляции. Одновременное снижение сопротивления изоляции у всех трех фаз обмотки обычно является следствием изменения общего состояния ее поверхности: загрязнения, покрытия обмотки свежим лаком и т. п.

Таблица

2.1.

Допустимые значения сопротивления изоляции электродвигателей переменного тока

Испытуемый объект	Напряжение мегаомметра, В	Нормируемое значение
Обмотка статора электродвигателя напряжением до 1000 В	1000	Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм при температуре $10\text{—}30^{\circ}\text{C}$
Обмотка ротора синхронных электродвигателей и электродвигателей с фазным ротором	500	Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,2 МОм при температуре $10\text{—}30^{\circ}\text{C}$. Допускается ввод в эксплуатацию неявнополюсных роторов, имеющих сопротивление изоляции не ниже 2000 Ом при 70°C или 20000 Ом при

		20 °C
Термодетекторы	250	Сопротивление изоляции не нормируется
Подшипники синхронных электродвигателей напряжением выше 1000 В	1000	Сопротивление изоляции не нормируется. Измерение производится относительно фундаментной плиты при полностью собранных маслопроводах

Таблица 2.2. Сопротивление изоляции электродвигателей при различной температуре обмотки

Температура обмотки, °C	Сопротивление изоляции R_{60° , МОм, при номинальном напряжении, кВ				
	0,22	0,46	3- 33,15	6- 6.3	10-10,5
10	2,7	5,3	35	75	125
20	1,85	3,7	25	50	85
30	1,3	2,6	13	35	60
40	0,85	1,75	12	24	40

50	0,6	1,2	9	16	27
60	0,4	0,8	6	10	18
75	0,22	0,45	3	6	10

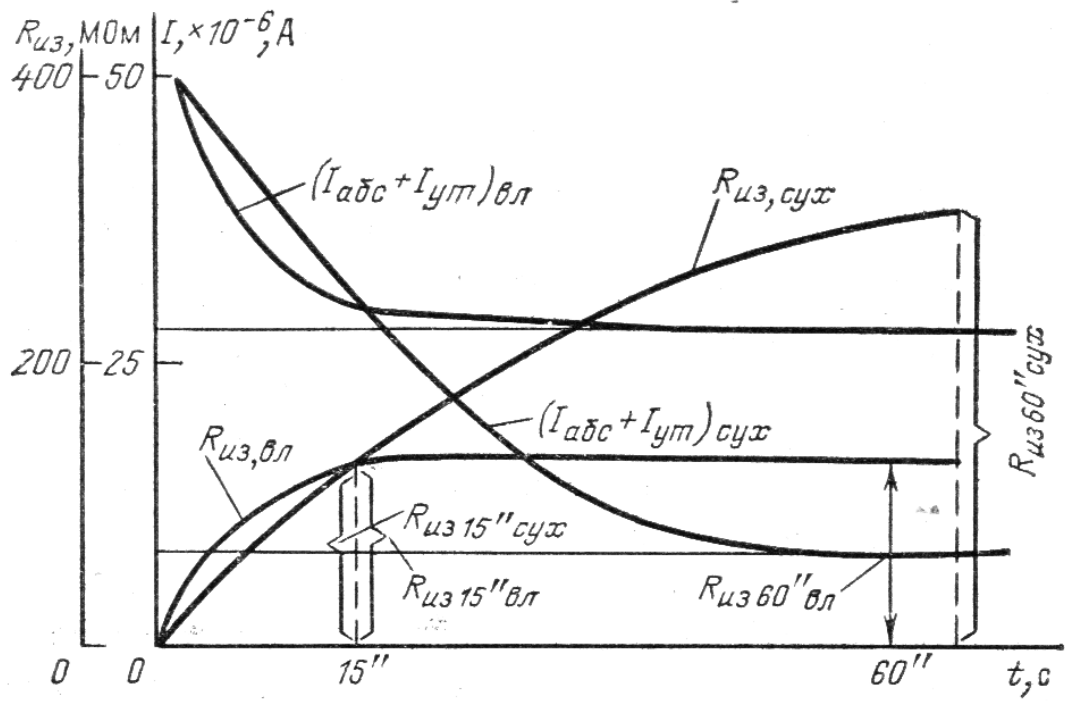


Рис. 2.29. Кривые абсорбции: $R_{из,сух}=f(t)$; $I_{абс}=f(t)$, $I_{ут}=f(t)$

Следовательно, о качестве состояния изоляции машин следует судить не только по абсолютному значению сопротивления изоляции, но и по характеру изменений сопротивления изоляции во времени, т. е. по снятым кривым абсорбции, которые представляют собой зависимость сопротивления изоляции от времени приложения выпрямленного напряжения в процессе измерений, обусловленному изменением тока абсорбции (рис. 2.29). Физический смысл тока абсорбции состоит в явлении постепенной внутренней поляризации слоистых диэлектриков, которые применяются для выполнения изоляции электрических машин и трансформаторов, при длительном приложении к ним выпрямленного напряжения. С увеличением заряда ток абсорбции в слоистом диэлектрике снижается, а сопротивление изоляции увеличивается. Абсолютное значение и скорость спада тока абсорбции определяются влажностью слоистого диэлектрика. Чем влажнее изоляция, тем меньше ее емкость, тем больше начальное значение тока абсорбции и тем быстрее он спадает до некоторого установившегося значения. Сопротивление изоляции влажного или дефектного диэлектрика быстро достигает установившегося значения, и абсолютное его значение невелико. Полный ток утечки складывается из тока абсорбции и неизменного в процессе измерения активного тока сквозной проводимости. Чем выше качество изоляции, тем медленнее спадает ток абсорбции и медленнее возрастает сопротивление изоляции до своего установившегося значения, которое всегда выше, чем у влажной изоляции (рис. 2.29).

Таким образом, оценка степени увлажненности изоляции электрических машин с достаточной для практики точностью производится измерением коэффициента абсорбции или отношения сопротивления изоляции, измеренного после вращения ручки мегаомметра в течение 1 мин, ($R_{60''}$) к сопротивлению изоляции, измеренному через 15 с, ($R_{15''}$).

Изоляция считается достаточно сухой, если коэффициент абсорбции:

$$k_{абс} = R_{60''} / R_{15''} > 1.$$

Обычно принимают $k_{абс} > 1,3$ при температуре обмоток 10—30⁰С, но не ниже 1,2. При неувлажненной изоляции $k_{абс}$ может достигать 2—3 и более.

Коэффициент абсорбции дает оценку состояния изоляции и практически не зависит от размеров и мощностей машины. Сопротивления изоляции и $k_{\text{абс}}$ для статорных обмоток электродвигателей не нормируются, но должны сопоставляться с заводскими данными или с данными предыдущих измерений и учитываться при рассмотрении результатов измерения. Если при измерениях сопротивления изоляции установлено, что причиной его низкого уровня является увлажненность изоляции, то для повышения сопротивления изоляции применяют сушку изоляции, а если низкое сопротивление изоляции является следствием ее запыленности токопроводящей пылью, то изоляцию продувают сжатым воздухом.

Если после чистки машины сопротивление изоляции не повысится, необходимо произвести поверхностную сушку обмоток и их выводов с помощью воздуходувки или другими способами, а затем провести контрольные измерения изоляции. При наличии налета масла токопроводящая пыль уже не сдувается в достаточной степени; в таких случаях приходится прибегать к протиранию или даже промывке внутренних поверхностей машины растворителями, после чего иногда требуется восстановление покрытия обмотки лаками. Чтобы уточнить причины снижения сопротивления изоляции, следует измерить электрическое сопротивление изоляции мостом Р316 или Р329 при двух направлениях тока в контролируемой цепи. Если низкое сопротивление изоляции вызывается токопроводящей пылью, то мост при обоих измерениях покажет одинаковые результаты. При неодинаковых показаниях наиболее вероятной причиной можно считать проникновение в обмотку влаги и образование гальванической ЭДС, которая и создает разные показания при измерении мостом. Для повышения сопротивления изоляции обмотку машины промывают ксилолом, толуолом или другим растворителем и удаляют таким образом попавшую в машину пыль или сушат машину, если ухудшение изоляции вызвано общей увлажненностью обмотки. Сопротивление изоляции электрических машин не нормируется, но должно быть не ниже 0,5 МОм при температуре 10—30 °С для новых машин напряжением 2 кВ и выше или мощностью более 1000 кВт, а для машин, бывших в эксплуатации, 0,2 МОм.

Контроль сопротивления изоляции подшипников электродвигателей.

При работе генератора, синхронного компенсатора, крупных машин переменного тока или агрегатов, собранных из нескольких машин, вдоль вала ротора действует переменная ЭДС, которая может вызвать токи через подшипники электродвигателей (рис. 2.30). Индуцируемая ЭДС может достигать нескольких десятков долей вольта, а иногда нескольких вольт. Токи в подшипниках опасны тем, что образуют в масляном слое между шейками вала ротора электрической машины и вкладышами подшипников маленькие электрические дуги, которые разъедают поверхности шеек вала и заливку вкладышей подшипников, «натаскивая» баббит на шейки вала, что вызывает чрезмерный нагрев подшипников и расплавление заливки вкладышей. Кроме того, электролитическое действие тока ухудшает качество масла, вызывая его почернение, что в свою очередь увеличивает нагревание подшипников. Если электрическая машина соединена с какой-либо другой машиной (в агрегат), то возникающий ток, ответвляясь, может повредить подшипники или другие части второй машины.

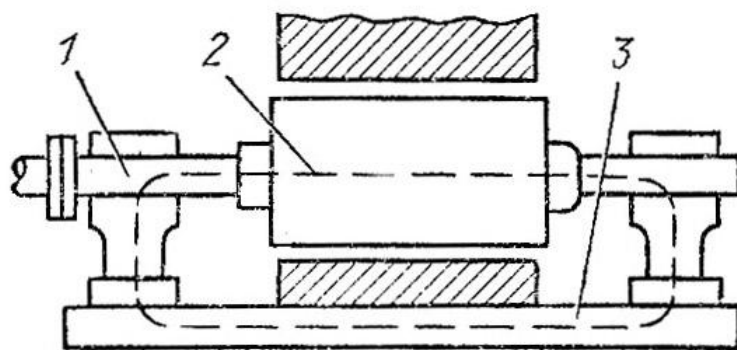


Рис. 2.30. Схема протекания токов в подшипниках: 1 — подшипники; 2 — вал ротора; 3 — фундаментная плита. Для устранения подшипниковых токов в их цепь (вал — подшипник — фундаментная плита — подшипник — вал) включают изолирующие прокладки. Кроме главных изолирующих прокладок (между стояками и фундаментной плитой) применяют дополнительные прокладки для изоляции всех шунтирующих цепей: болтов, контрольных шпилек, маслопровода, кабелей возбуждения, кабелей температурной сигнализации, а также приспособление для короткого замыкания ротора асинхронного электродвигателя, если оно стоит на фундаментной плите. Во избежание повреждений, вызываемых подшипниковыми токами, необходимо систематически контролировать целостность изоляционных прокладок,

изолирующих подшипники электрических машин. Измерение сопротивления изоляции всех изолированных подшипников электродвигателей относительно фундаментной плиты при полностью собранных маслопроводах производится в процессе монтажа мегаомметром на 1000 В; сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм у электродвигателей переменного тока напряжением 2 кВ и выше или мощностью более 1000 кВт.

Изоляцию подшипниковых стояков проверяют до установки ротора, так как после установки все подшипники оказываются соединенными между собой через неизолированный подшипник и со станиной. По технологии монтажа сначала собирают машину, устанавливают ротор, а затем монтируют маслопровод. В подобных случаях необходимо проверить качество изоляции по элементам отдельно: сначала изоляцию подшипниковых стояков, а затем маслопроводов после их сборки. При проверке изоляции стула подшипника конец вала ротора машины необходимо приподнять от стула подшипника подъемным крапом.

На время измерения электрически соединяют между собой вкладыши всех изолированных подшипников. Наличие электрической изоляции на двух последовательных фланцах каждого маслопровода изолированного подшипника позволяет, не вскрывая подшипника, проверить изоляцию каждого маслопровода. Для этого достаточно измерить мегаомметром сопротивление изоляции участка трубы между фланцами относительно корпуса подшипника.

В условиях работающей электрической машины также можно проверить исправность изоляционной прокладки под корпусом подшипника. Для этого применяют метод двух последовательных измерений напряжения в контуре: вал — подшипник — фундаментная плита — подшипник (рис. 2.31); сначала измеряют напряжение U_1 на концах ротора (а), после этого измеряют при закороченных масляных пленках в обоих подшипниках машины напряжение U_2 между изолированным подшипниковым стояком и фундаментной плитой (б).

Если эти напряжения равны, то изоляционная прокладка в исправности; если второе напряжение U_2 , меньше U_1 , то прокладка неисправна.

Обычно принято считать, что если U_1 и U_2 отличаются друг от друга больше чем на 10 %, то это указывает на неисправность изоляции. Если же U_2 больше U_1 , то это указывает на неправильность измерения, которое

должно быть повторено. Следует иметь в виду, что напряжения на валу ротора, измеренные при холостом ходе, будут отличаться от измеренных при нагрузке. Необходимость закорачивания масляных пленок вызывается тем, что в некоторых случаях пленка сама обладает изоляционными свойствами, и поэтому при повреждении изоляционной прокладки под стулом подшипника напряжение U_2 между валом и корпусом будет равно напряжению U_1 между концами вала, и дефект изоляции не будет выявлен.

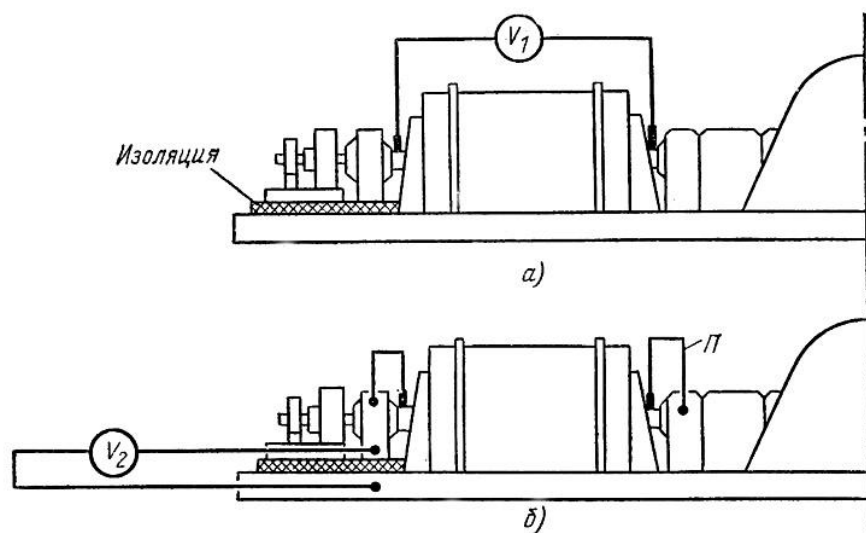


Рис. 2.31. Измерение сопротивления изоляции подшипников крупных электрических машин во время работы

В настоящее время изоляция подшипников выполняется из двух слоев с прокладкой фольги, что позволяет измерять и контролировать сопротивление изоляции без подъема конца вала. Измерение напряжения следует производить вольтметром с малым пределом измерения и с малым внутренним сопротивлением, чтобы на результатах измерения не могло отразиться отекание с ротора машины электростатических зарядов. Сопротивления изоляции подшипников должно быть не менее 0,5 МОм при температуре 10—30 °С

2.4.3. Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением промышленной частоты
Наиболее эффективным средством выявления сосредоточенных дефектов изоляции электрических машин является испытание повышенным напряжением промышленной частоты. При испытании изоляции обмоток на

электрическую прочность повышенным напряжением промышленной частоты выявляются местные дефекты — трещины, изломы, проколы, значительные расслоения, воздушные включения и т. п., не обнаруживаемые при осмотре.

В машинах переменного тока соединенные между собой фазы многофазных обмоток считают за одну цепь, если начало и конец каждой фазы не снабжены отдельными выводами. В этом случае всю многофазную обмотку испытывают относительно корпуса машины.

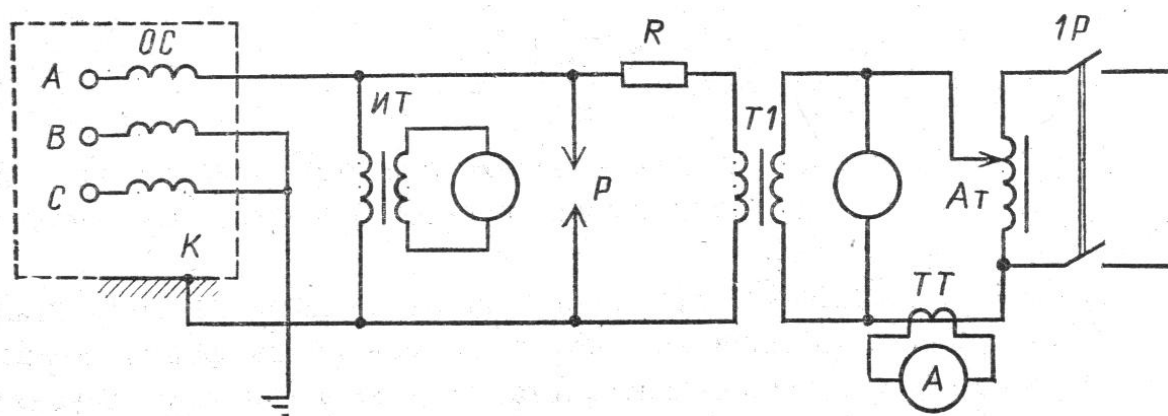


Рис. 2.32. Схема испытания изоляции обмоток электрических машин повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты:

ОС—обмотка статора; ИТ—измерительный трансформатор; Т—испытательный трансформатор; АТ — регулировочный автотрансформатор; Р — разрядник; R — токоограничивающий резистор 25—50 кОм; А — измерительный прибор; ТТ — трансформатор тока; К.—корпус аппарата, изоляция которого испытывается.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Тема: Поверка однофазного счетчика

*Обучающийся должен
знать:*

– Устройства, принцип работы индукционного счетчика электрической энергии;

уметь:

– Проводить расчет абсолютной, относительной погрешностей

счетчика электрической энергии;

Задача. Для проверки однофазного счетчика с техническими данными, указанными в таблице, в цепь включили приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр, счетчик электрической энергии. Начертите схему цепи, определите величины: 1) показания ваттметра P ; 2) номинальную постоянную счетчика C_H ; 3) действительную постоянную счетчика C_d ; 4) абсолютную погрешность счетчика ΔC ; 5) относительную погрешность счетчика γ ; 6) класс точности счетчика.

При поверке счетчика поддерживалась нагрузка с $\cos\varphi = 0,8$.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номер варианта	Наименование параметров				
	I, A	U, B	n, обор. диска 1 кВт. ч	N, оборот.	t, с
0	4,5	130	1250	10	60
1	4	127	1250	16	90
2	5	220	1200	22	60
3	3,5	230	1220	35	120
4	5	220	640	12	60
5	4	230	640	14	90
6	4,5	210	600	11	120
7	4	130	1250	17	120
8	4	230	1280	30	90
9	4,5	130	1290	18	90

Методические указания к решению задачи

Задача. Для проверки однофазного счетчика с техническими данными, указанными в таблице, в цепь включили приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр, счетчик электрической энергии. Начертите схему цепи, определите величины: 1) показания ваттметра P ; 2) номинальную постоянную счетчика C_H ; 3) действительную постоянную счетчика C_d ; 4) абсолютную погрешность счетчика ΔC ; 5) относительную погрешность счетчика γ ; 6) класс точности счетчика.

При поверке счетчика поддерживалась нагрузка с $\cos\varphi = 0,8$.

Дано:

$K_H = 1270 \text{ оборотов/кВт. ч}; I = 5 \text{ A}; U = 220 \text{ B}; N = 25 \text{ обор}; \cos\varphi = 0,8.$

Решение:

6. Показания ваттметра: $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 220 \cdot 5 \cdot 0,8 = 880 \text{ Вт}$.

7. Действительная постоянная счетчика: $C_{\text{д}} = \frac{P \cdot t}{N} = \frac{880 \cdot 60}{25} = 2112 \text{ Вт} \cdot \text{сек} / \text{об}$.

8. Номинальная постоянная счетчика:

$$C_{\text{н}} = \frac{I}{K_{\text{н}}} = \frac{1000 \cdot 3600}{1270} = 2835 \text{ Вт} \cdot \text{сек} / \text{об}.$$

9. Абсолютная погрешность счетчика:

$$\Delta C = C_{\text{н}} - C_{\text{д}} = 2835 - 2112 = 722 \text{ Вт} \cdot \text{сек} / \text{об}.$$

10. Относительная погрешность: $\gamma = \frac{\Delta C}{C_{\text{д}}} \cdot 100 = \frac{722}{2112} \cdot 100 = 34\%$.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Тема: Измерение электрических величин

Обучающийся должен

знать:

- Основные электромеханические измерительные приборы;

уметь:

- Проводить расчет основных электрических величин, составлять схемы;

Задача. Для исследования цепи однофазного переменного тока с катушкой индуктивности включены приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр и фазометр. Начертите схему цепи, определите величины: 1) показания ваттметра P ; 2) активное сопротивление цепи r ; 3) реактивное сопротивление X ; 4) полное сопротивление Z ; 5) полную мощность S ; 6) реактивную мощность Q ; 7) индуктивность катушки L . Частота тока 50 Гц.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номер варианта	Наименование параметров		
	I, А	U, В	$\cos\varphi$
0	5	127	0,75
1	4,09	220	0,77
2	7,07	110	0,625
3	3,5	117	0,6
4	2,54	127	0,2
5	4	220	0,83
6	3	127	0,9
7	2	220	0,8
8	7,87	127	0,8
9	5,75	220	0,75

Методические указания к решению задачи

Задача. Для исследования цепи однофазного переменного тока с катушкой индуктивности включены приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр и фазометр. Начертите схему цепи, определите величины: 1) показания ваттметра P ; 2) активное сопротивление цепи r ; 3) реактивное сопротивление X ; 4) полное сопротивление Z ; 5) полную мощность S ; 6) реактивную мощность Q ; 7) индуктивность катушки L . Частота тока 50 Гц.

Дано:

$$f = 50 \text{ Гц}; I = 3,8 \text{ А}; U = 220 \text{ В}; \cos\varphi = 0,48.$$

Решение:

8. Показания ваттметра: $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 220 \cdot 3,8 \cdot 0,48 = 401 \text{ Вт}$.

9. Полное сопротивление катушки: $Z = \frac{U}{I} = \frac{220}{3,8} = 58 \text{ Ом}$.

10. Активное сопротивление катушки: $r = Z \cdot \cos \varphi = 58 \cdot 0,48 = 28 \text{ Ом}$.

11. Индуктивное сопротивление катушки: $X_L = \sqrt{Z^2 - r^2} = \sqrt{58^2 - 28^2} = 51 \text{ Ом}$.

12. Индуктивность катушки: $L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{51}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,16 \text{ Гн}$.

13. Полная мощность цепи: $S = U \cdot I = 220 \cdot 3,8 = 836 \text{ ВА}$.

14. Реактивная мощность цепи: $Q = S \cdot \sin \varphi = 220 \cdot 3,8 \cdot 0,87 = 727 \text{ ВАр}$.

$$\varphi = \arccos 0,48 = 68^\circ; \quad \sin 68 = 0,87.$$