

Лабораторная работа № 11

КОНТРОЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ И ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Цель работы: ознакомиться с факторами, влияющими на опасность поражения человека электрическим током, нормативными величинами и приборами для их измерения; научиться измерять сопротивление растеканию электрического тока в заземляющих устройствах и сопротивление изоляции токоведущих частей (электропроводов, кабелей).

Приборы и оборудование: М101М – для измерения сопротивления изоляции приборов; М416 – для измерения сопротивления заземляющего устройства.

1. Общие положения

Широкое использование электрической энергии во всех отраслях промышленности и быта обуславливает значительную опасность поражения человека электрическим током. Статистический анализ травматизма показывает, что количество электротравм в промышленности составляет всего около 0,5–1% от всех травм, однако, на них приходится 15–20% летального исхода, причем до 80–85% электротравм со смертельным исходом происходит в сетях с напряжением до 1 кВ.

1.1. Классификация помещений по опасности поражения электрическим током

Опасность поражения электрическим током в значительной степени зависит от условий окружающей среды, в которых будет эксплуатироваться электрооборудование.

Согласно ТКП 339-2022 «Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний» помещения *по характеру окружающей среды* подразделяются на нормальные, сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные и с химически активной или органической средой.

Нормальные – сухие помещения, в которых отсутствуют признаки, свойственные помещениям жарким, пыльным, с химически активной или органической средой.

Сухие – помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60%.

Влажные – помещения, в которых относительная влажность воздуха более 60%, но не превышает 75%.

Сырые – помещения, в которых относительная влажность воздуха превышает 75%.

Особо сырые – помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100% (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

Жаркие – помещения, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура превышает постоянно или периодически (более одних суток) 35°C (например, помещения с сушилками, обжигательными печами, котельные).

Пыльные – помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль, которая может оседать на токоведущих частях, проникать внутрь машин, аппаратов и т. п. Разделяются на помещения с токопроводящей пылью и помещения с нетокопроводящей пылью.

С химически активной или органической средой – помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

По степени опасности поражения людей электрическим током помещения подразделяются на три категории: помещения без повышенной опасности, помещения с повышенной опасностью и особо опасные помещения.

К **помещениям без повышенной опасности** относятся помещения, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

Помещения с повышенной опасностью – помещения, характеризующиеся наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность поражения людей электрическим током:

- высокая температура (жаркое помещение);
- сырость (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%) или токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т. п.);
- возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т. п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям) – с другой.

Особо опасные помещения – помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность поражения людей электрическим током:

- особо сырые (относительная влажность воздуха близка к 100%);
- с химически активной или органической средой;
- одновременно два или более условий повышенной опасности.

Территории размещения открытых электроустановок по опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

1.2. Защита от поражения током

Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции.

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты от прямого прикосновения:

- основная изоляция токоведущих частей;
- ограждения и оболочки;
- установка барьеров;
- размещение вне зоны досягаемости;
- применение сверхнизкого (малого) напряжения.

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ следует применять устройства защитного автоматического отключения питания (например, устройство защитного отключения (УЗО) с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА).

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- защитное зануление;
- защитное автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Меры защиты от поражения электрическим током должны быть предусмотрены в электроустановке или ее части либо применены к отдельным электроприемникам и могут быть реализованы при изготовлении электрооборудования, либо в процессе монтажа электроустановки, либо в обоих случаях.

Применение двух и более мер защиты в электроустановке не должно оказывать взаимного влияния, снижающего эффективность каждой из них.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока. В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться при более низких напряжениях (например, 25 В переменного и 60 В постоянного тока или 12 В переменного и 30 В постоянного тока).

Требования защиты при косвенном прикосновении распространяются на:

- на корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т. п.;
- приводы электрических аппаратов;
- каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов, а также съемных или открывающихся частей, если на последних установлено электрооборудование напряжением выше 50 В переменного или 120 В постоянного тока (в случаях, предусмотренных соответствующими разделами ТКП-339-2022: выше 25 В переменного или 60 В постоянного тока);
- металлические конструкции распределительных устройств, кабельные конструкции, кабельные муфты, оболочки и броню контрольных и силовых кабелей, оболочки проводов, рукава и трубы электропроводки, оболочки и опорные конструкции шинопроводов (токопроводов), лотки, короба, струны, тросы и полосы, на которых укреплены кабели и провода (кроме струн, тросов и полос, по которым проложены кабели с зануленной или заземленной металлической оболочкой или броней), а также другие металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование;
- металлические оболочки и броню контрольных и силовых кабелей и проводов на напряжения, не превышающие 50 В переменного и 120 В постоянного тока, проложенные на общих металлических конструкциях, в т. ч. в общих трубах, коробах, лотках и т. п., с кабелями и проводами на более высокие напряжения;
- металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;
- электрооборудование, установленное на движущихся частях станков, машин и механизмов.

При применении в качестве защитной меры автоматического отключения питания указанные открытые проводящие части должны быть присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания в системе TN и заземлены в системах IT и TT (*описание используемых систем в электрических сетях напряжением до 1 кВ смотрите в лабораторной работе № 12*).

Электроустановки напряжением до 1 кВ жилых, общественных и промышленных зданий и наружных установок должны, как правило, получать питание от источника с глухозаземленной нейтралью с применением системы TN. Для защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания.

Питание электроустановок напряжением до 1 кВ переменного тока от источника с изолированной нейтралью с применением системы IT следует выполнять, как правило, при недопустимости перерыва питания при первом замыкании на землю или на открытые проводящие части, связанные с системой уравнивания потенциалов. В таких электроустановках для защиты при косвенном прикосновении при первом замыкании на землю должно быть выполнено защитное заземление в сочетании с контролем изоляции сети или применены УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

При двойном замыкании на землю должно быть выполнено автоматическое отключение питания.

Питание электроустановок напряжением до 1 кВ от источника с глухозаземленной нейтралью и с заземлением открытых проводящих частей при помощи заземлителя, не присоединенного к нейтрали (система TT), допускается только в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе TN не могут быть обеспечены. Для защиты при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания с обязательным применением УЗО. При этом должно быть соблюдено условие

$$R_a \cdot I_a \leq 50 \text{ В}, \quad (11.1)$$

где R_a – суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, при применении УЗО для защиты нескольких электроприемников – заземляющего проводника наиболее удаленного электроприемника; I_a – ток срабатывания защитного устройства.

При применении защитного автоматического отключения питания должна быть выполнена основная система уравнивания потенциалов, а при необходимости также дополнительная система уравнивания потенциалов.

Рассмотрим подробнее виды защиты.

Электрическая изоляция различных токоведущих проводов, частей оборудования (внутренние электрические сети, статорные обмотки электродвигателей, обмотки трансформаторов и т. п.) является основой обеспечения электробезопасности. Надежная и качественная электрическая изоляция может обеспечить 100%-ную электробезопасность. Однако на практике электрическая изоляция может быть разрушена от механических повреждений, действия химически активной среды, повышенной температуры, неправильной эксплуатации электроустановок. При этом может появиться напряжение на корпусах, которые обычно не находятся под напряжением.

Различают основную, дополнительную, двойную и усиленную электрическую изоляцию.

Основной называется изоляция токоведущих частей, обеспечивающая в т. ч. защиту от прямого прикосновения.

Дополнительной является независимая изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, выполняемая дополнительно к основной изоляции для защиты при косвенном прикосновении.

Двойная – изоляция в электроустановках, состоящая из основной и дополнительной изоляций.

Усиленная – изоляция в электроустановках, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, равноценную двойной изоляции.

Основная изоляция токоведущих частей должна покрывать токоведущие части и выдерживать все возможные воздействия, которым она может подвергаться в процессе эксплуатации. Удаление изоляции должно быть возможно только путем ее разрушения. Лакокрасочные покрытия не являются изоляцией, защищающей от поражения электрическим током, за исключением случаев,

специально оговоренных техническими условиями на конкретные изделия. При выполнении изоляции во время монтажа она должна быть испытана. В случаях, если основная изоляция обеспечивается воздушным промежутком, защита от прямого прикосновения к токоведущим частям или приближения к ним на опасное расстояние, в т. ч. в электроустановках напряжением выше 1 кВ, должна быть выполнена посредством оболочек, ограждений, барьеров или размещением вне зоны досягаемости.

Защита при помощи двойной или усиленной изоляции может быть обеспечена применением электрооборудования класса II или заключением электрооборудования, имеющего только основную изоляцию токоведущих частей, в изолирующую оболочку.

Проводящие части оборудования с двойной изоляцией не должны быть присоединены к защитному проводнику и к системе уравнивания потенциалов.

При выполнении мер защиты в электроустановках напряжением до 1 кВ классы применяемого электрооборудования по способу защиты человека от поражения электрическим током по ГОСТ 12.2.007.0 следует принимать в соответствии с табл. 11.1.

Таблица 11.1

Применение электрооборудования в электроустановках напряжением до 1 кВ

Класс по ГОСТ 12.2.007.0	Маркировка	Назначение защиты	Условия применения электрооборудования в электроустановке
Класс 0	—	При косвенном прикосновении	1. Применение в непроводящих помещениях. 2. Питание от вторичной обмотки разделительного трансформатора только одного электроприемника
Класс I	Защитный зажим — знак  , или буквы PE, или желто-зеленые полосы	При косвенном прикосновении	Присоединение заземляющего зажима электрооборудования к защитному проводнику электроустановки
Класс II	Знак 	При косвенном прикосновении	Независимо от мер защиты, принятых в электроустановке
Класс III	Знак 	От прямого и косвенного прикосновения	Питание от безопасного разделительного трансформатора

Согласно ТКП 339-2022, сопротивление изоляции между любым проводом и землей, а также между любыми проводами на участке, между двумя соседними предохранителями в распределительной сети напряжением до 1 кВ должно составлять **не менее 0,5 МОм (500 000 Ом)**.

Изоляцию электрических машин напряжением свыше 1 кВ рассчитывают по формуле

$$R = \frac{U}{1000 + P/100}, \quad (11.2)$$

где R – сопротивление изоляции, МОм; U – напряжение, В; P – номинальная мощность, кВт.

Измерение сопротивления изоляции электрических установок производят после их монтажа, ремонта и периодически в процессе эксплуатации не реже одного раза в год в помещениях с повышенной опасностью и не реже двух раз в год в особо опасных помещениях.

Ограждения и оболочки должны быть надежно закреплены и иметь достаточную механическую прочность. Вход за ограждение или вскрытие оболочки должны быть возможны только при помощи специального ключа или инструмента либо после снятия напряжения с токоведущих частей. При невозможности соблюдения этих условий должны быть установлены промежуточные ограждения, удаление которых также должно быть возможно только при помощи специального ключа или инструмента.

Барьеры предназначены для защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям в электроустановках напряжением до 1 кВ или приближения к ним на опасное расстояние в электроустановках напряжением выше 1 кВ, но их применение не исключает преднамеренного прикосновения и приближения к токоведущим частям при обходе барьера. Для удаления барьеров не требуется применения ключа или инструмента, однако они должны быть закреплены так, чтобы их нельзя было снять непреднамеренно. Барьеры должны быть выполнены из изолирующего материала.

Размещение вне зоны досягаемости для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям в электроустановках напряжением до 1 кВ или приближения к ним на опасное расстояние в электроустановках напряжением выше 1 кВ может быть применено при невозможности установки ограждений, оболочек и барьеров или их недостаточности. При этом расстояние между доступными для одновременного прикосновения проводящими частями в электроустановках напряжением до 1 кВ должно быть не менее 2,5 м. Внутри зоны досягаемости не должно быть частей, имеющих разные потенциалы и доступных для одновременного прикосновения. В вертикальном направлении зона досягаемости в электроустановках напряжением до 1 кВ должна составлять 2,5 м от поверхности, на которой находятся люди. Указанные размеры даны без учета применения вспомогательных средств (например, инструмента, лестниц, длинных предметов).

Установка барьеров и размещение вне зоны досягаемости допускаются только в помещениях, доступных квалифицированному персоналу.

Сверхнизкое (малое) напряжение (СНН) в электроустановках напряжением до 1 кВ может быть применено для защиты от поражения электрическим током при прямом и (или) косвенном прикосновениях в сочетании с защитным электрическим разделением цепей или в сочетании с защитным автоматическим отключением питания. В качестве источника питания цепей СНН в обоих случаях следует применять безопасный разделительный трансформатор или другой источник СНН, обеспечивающий равноценную степень безопасности.

Разделительный трансформатор – трансформатор, первичная обмотка которого отделена от вторичных обмоток двойной или усиленной изоляцией.

Токоведущие части цепей СНН должны быть электрически отделены от других цепей так, чтобы обеспечивалось электрическое разделение, равноценное разделению между первичной и вторичной обмотками разделительного трансформатора. Вилки и розетки штепсельных соединителей в цепях СНН не должны допускать подключение к розеткам и вилкам других напряжений. Штепсельные розетки должны быть без защитного контакта.

Заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

Защитное заземление – заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

Для заземления электроустановок могут быть использованы искусственные и естественные заземлители. Если при использовании естественных заземлителей сопротивление заземляющих устройств или напряжение прикосновения имеет допустимое значение, а также обеспечиваются нормированные значения напряжения на заземляющем устройстве и допустимые плотности токов в естественных заземлителях, выполнение искусственных заземлителей в электроустановках до 1 кВ не обязательно. Использование естественных заземлителей в качестве элементов заземляющих устройств не должно приводить к их повреждению при протекании по ним токов короткого замыкания или к нарушению работы устройств, с которыми они связаны.

Для заземления в электроустановках разных назначений и напряжений, территориально сближенных, как правило, применяется одно общее заземляющее устройство.

Требуемые значения напряжений прикосновения и сопротивления заземляющих устройств при стекании с них токов замыкания на землю и токов утечки должны быть обеспечены при наиболее неблагоприятных условиях в любое время года.

Заземляющие устройства должны быть механически прочными, термически и динамически стойкими к токам замыкания на землю.

Контроль заземляющих устройств необходимо выполнять в соответствии с ТКП 181-2023 «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей».

Сопротивление заземляющего устройства в сети напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора либо выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть **не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 690, 400, 230 В источника трехфазного тока или 400, 230, 133 В источника однофазного тока.**

Сопротивление заземляющего устройства в сети напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью, используемого для защитного заземления открытых проводящих частей, в системе IT должно соответствовать условию

$$R \leq U_{\text{пр}} / I, \quad (11.3)$$

где R – сопротивление заземляющего устройства, Ом; $U_{пр}$ – напряжение прикосновения, значение которого принимается равным 50 В; I – полный ток замыкания на землю, А.

Как правило, не требуется принимать значение сопротивления заземляющего устройства менее 4 Ом.

Искусственные заземлители могут быть из черной или оцинкованной стали, омедненными или медными. Искусственные заземлители не должны иметь окраски. Чаще всего это стержни из угловой стали, забитые в землю вертикально и соединенные между собой под землей приваренной к ним стальной полосой (рис. 11.1).

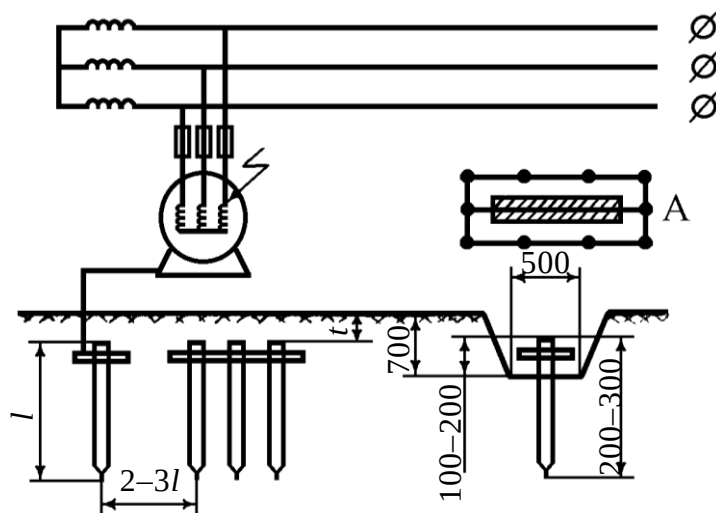


Рис. 11.1. Схема заземляющего устройства
А – расположение заземлителей в плане

В случае пробоя одной из фаз электросети на корпус электродвигателя благодаря защитному заземлению напряжение, под которое может попасть человек, прикоснувшись к корпусу, значительно снижается. На корпусе электрического двигателя появляется напряжение, равное произведению тока замыкания на землю I_3 и сопротивления растеканию тока заземлителя R_3 :

$$U_k = I_3 \cdot R_3. \quad (11.4)$$

Ток однофазного замыкания на землю в сети напряжением до 1000 В обычно не превышает 10 А. Следовательно, напряжение на корпусе заземленного оборудования при замыкании составит $U_k = 10 \cdot 4 = 40$ В.

Поэтому ток $I_{чел}$, проходящий через тело человека, тем меньше, чем меньше сопротивление заземлителя.

Каждое заземляющее устройство имеет паспорт, в котором указана его схема, основные расчетные данные, сведения о его ремонте и о замерах сопротивления: после монтажа, в первый год после включения в работу и затем не реже 1 раза в 6 лет в энергосистемах, 1 раза в 3 года на подстанциях потребителей и ежегодно в цеховых электроустановках. Одновременно с измерением сопротивления проверяют целостность внешних заземляющих проводников, надежность соединений естественных заземлителей, вскрывают (выбороч-

но) грунт для осмотра электродов: не изъедены ли они коррозией и блуждающими токами. При обнаружении частей заземляющего устройства, пришедших в негодность и подверженных значительной коррозии, они должны быть заменены новыми.

Для защиты от поражения электрическим током в сетях с глухозаземленной нейтралью применяется зануление (рис. 11.2).

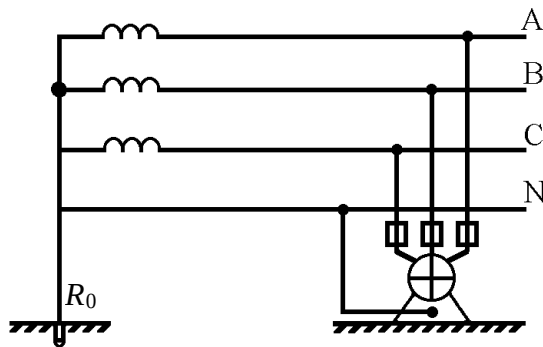


Рис. 11.2. Схема зануления оборудования

Защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ – преднамеренное соединение открытых проводящих частей с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Основная задача зануления состоит в том, чтобы превратить замыкание фазы на корпус в однофазное короткое замыкание и вызвать тем самым отключение поврежденного оборудования от сети. В течение всего времени, пока не сгорел предохранитель или не сработал автомат защиты, замыкание на один зануленный корпус (рис. 11.3) вызывает на всем зануленном оборудовании напряжение относительно земли, опасное для человека, которое определяется по формуле

$$U = I_{к.з} \cdot R_n = \frac{U_\phi}{R_n + R_\phi} \cdot R_n = \frac{U_\phi}{1 + (R_\phi / R_n)}, \quad (11.5)$$

где $I_{к.з}$ – ток короткого замыкания, А; R_n – сопротивление нулевого провода, Ом; R_ϕ – сопротивление фазного провода, Ом.

Отношение $\frac{R_\phi}{R_n} = 0,5$, тогда $U = \frac{220}{1 + 0,5} = 146 \text{ В}$.

Безопасность может быть достигнута лишь при весьма кратковременном действии тока, т. е. при быстром срабатывании защиты.

Защитное автоматическое отключение питания – автоматическое размыкание цепи одного или нескольких фазных проводников (и, если требуется, нулевого рабочего проводника), выполняемое в целях электробезопасности.

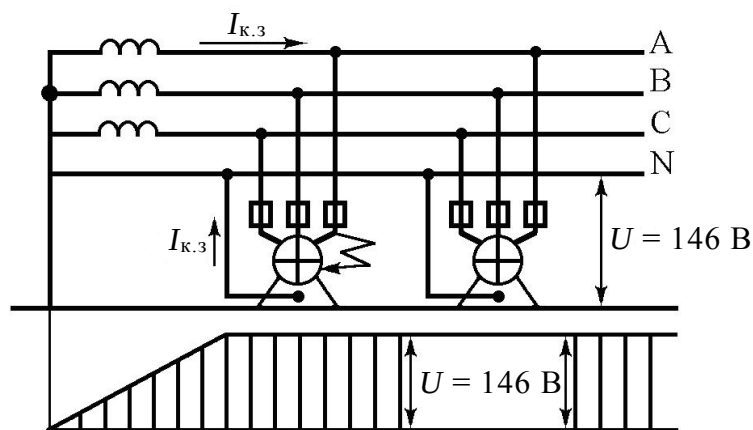


Рис. 11.3. Схема замыкания фазы на корпус зануленного оборудования

При выполнении автоматического отключения питания в электроустановках напряжением до 1 кВ все открытые проводящие части **должны быть присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания, если применена система TN, и заземлены, если применены системы IT или TT.** При этом характеристики защитных аппаратов и параметры защитных проводников должны быть согласованы, чтобы обеспечивалось нормированное время отключения поврежденной цепи защитно-коммутационным аппаратом в соответствии с номинальным фазным напряжением питающей сети.

В системе TN максимальное время защитного автоматического отключения, установленное в табл. 11.2, следует применять для групповых сетей по с номинальным током аппарата защиты, не превышающим 32 А и 63 А – при наличии штепсельных розеток.

В системе IT время автоматического отключения питания при двойном замыкании на открытые проводящие части должно соответствовать табл. 11.3.

Таблица 11.2

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы TN

Номинальное фазное напряжение U, В	Время отключения, с
120	0,8
230	0,4
400	0,2
Более 400	0,1

Таблица 11.3

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы IT

Номинальное линейное напряжение U ₀ , В	Время отключения, с
230	0,8
400	0,4
690	0,2
Более 690	0,1

Безопасное для человека сочетание величины тока и времени его прохождения обеспечивается применением устройств защитного отключения (УЗО).

Применение УЗО обеспечивает: защиту от косвенного прикосновения, когда человек касается корпуса электроустановки, оказавшегося под напряжением вследствие повреждения изоляции; защиту от прямого прикосновения, когда человек непосредственно касается фазного провода источника питания; защиту от пожара, который может возникнуть из-за чрезмерных токов утечки.

Применение УЗО является обязательным: для групповых линий, питающих розеточные сети, находящиеся вне помещений и в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью поражения электрическим током; для групповых линий в мобильных зданиях из металла или с металлическим каркасом; для электроустановок, в которых устройства защиты не обеспечивают нормируемого времени их отключения; для групповых линий, питающих электроприемники напряжением выше 25 В, монтируемые в ванных, душевых и парильных помещениях (кроме электроприемников, присоединенных к сети через разделительный трансформатор); для систем электрообогрева полов и др.

Устройства защитного отключения создаются на различных принципах действия. Существуют УЗО, реагирующие на ток нулевой последовательности; на напряжение нулевой последовательности; на токи и напряжения оперативных источников питания; на напряжение корпуса электроустановки относительно земли.

В электроустановках напряжением до 1000 В наиболее широко применяются УЗО, реагирующие на дифференциальный ток утечки. Схема такого однофазного УЗО приведена на рис. 11.4.

Датчиком устройства служит трансформатор тока утечки 2, кольцевой магнитопровод которого охватывает провода, питающие нагрузку 6 и играющие роль первичной обмотки. При отсутствии тока утечки рабочие токи в прямом и обратном направлениях равны по величине. Они наводят в магнитопроводе противоположно направленные потоки Φ_1 и Φ_2 . Результирующий поток равен нулю, поэтому УЗО не срабатывает.

При появлении тока утечки ток в прямом направлении I_1 превышает обратный ток I_2 на величину тока утечки $I_{ут}$. В сердечнике возникает магнитный поток небаланса, и по обмотке магнитоэлектрической защелки 5 протекает ток, вызывающий ее срабатывание и воздействие на механизм 4, отключающий контакты 3. УЗО срабатывает.

Для проверки исправности УЗО предусмотрена цепь тестирования 1 (кнопка «Тест»).

УЗО являются высокоэффективным и перспективным способом защиты. В то же время они не защищают электрическую сеть от токов коротких замыканий и перегрузок и должны применяться в комплекте с автоматическими выключателями или плавкими предохранителями.

Они используются в электроустановках до 1 кВ в дополнение к защитному занулению, а также в качестве основного или дополнительного способа защиты, когда другие способы малоэффективны.

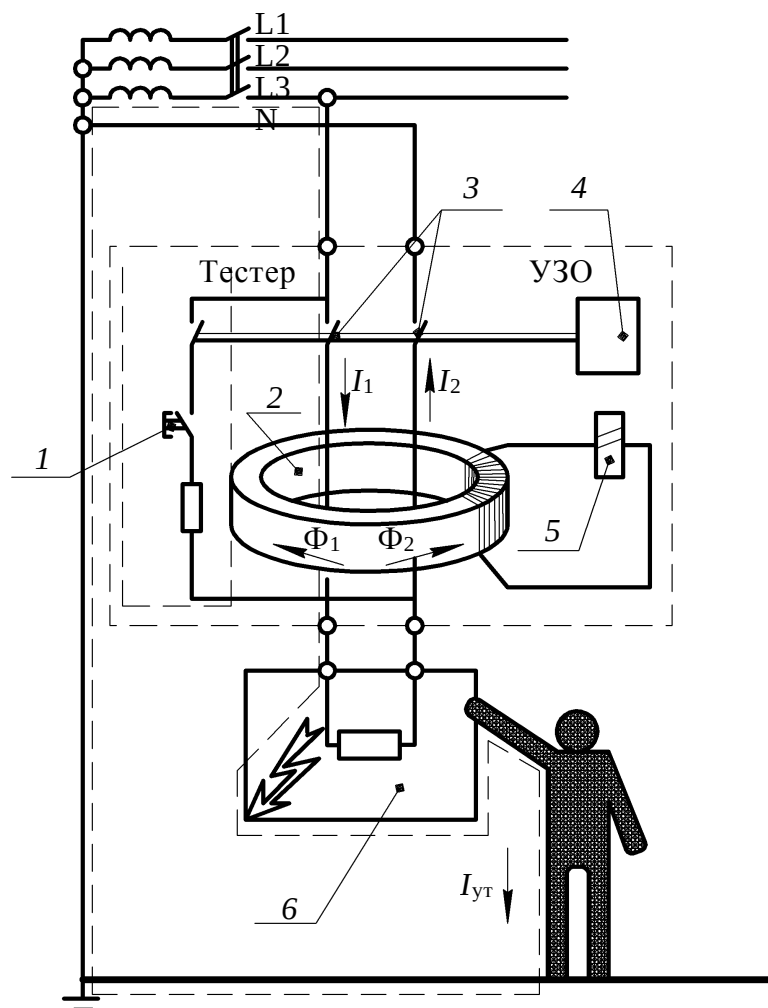


Рис. 11.4. Схема устройства защитного отключения:

- 1 – кнопка тестирования; 2 – трансформатор тока утечки; 3 – контакты;
 4 – механизм отключения; 5 – обмотка магнитоэлектрической защелки;
 6 – электрооборудование

В электроустановках, в которых в качестве защитной меры применено автоматическое отключение питания, должно быть выполнено уравнивание потенциалов.

Уравнивание потенциалов – электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов. **Защитное уравнивание потенциалов** – уравнивание потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности.

В каждом здании должна быть выполнена основная система уравнивания потенциалов. Все проводящие части, входящие в здание извне, должны присоединяться к искусственному заземлителю или системе уравнивания потенциалов на входе в здание.

Выравнивание потенциалов – снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или путем применения специальных покрытий земли.

Защитное электрическое разделение цепей – отделение одной электрической цепи от других цепей в электроустановках напряжением до 1 кВ с помощью: двойной изоляции; основной изоляции и защитного экрана; усиленной изоляции; разделительного трансформатора.

Защитное электрическое разделение цепей следует применять, как правило, для одной цепи. Наибольшее рабочее напряжение отделяемой цепи не должно превышать 500 В.

Изолирующие (непроводящие) помещения, зоны и площадки могут быть применены в электроустановках напряжением до 1 кВ, если требования к автоматическому отключению питания не могут быть выполнены, а применение других защитных мер невозможно либо нецелесообразно.

В изолирующих помещениях (зонах) не должен предусматриваться защитный проводник.

Должны быть предусмотрены меры против заноса потенциала на сторонние проводящие части помещения извне.

Пол и стены таких помещений не должны подвергаться воздействию влаги.

1.3. Классификация средств защиты, применяемых в электроустановках

К средствам защиты, используемым в электроустановках, относятся электрозащитные и иные средства защиты от вредных и (или) опасных факторов, возникающих при выполнении работ в электроустановках:

- электрозащитные средства и устройства;
- изолирующие средства и устройства от поражения электрическим током;
- экранирующие устройства от электрических полей повышенной напряженности;
- токопроводящие средства и устройства;
- оградительные устройства;
- устройства сигнализации;
- плакаты и знаки безопасности;
- средства индивидуальной защиты (СИЗ) от термических рисков электрической дуги, неионизирующих излучений, поражений электрическим током, а также от воздействия статического электричества (в том числе средства защиты рук от термических рисков электрической дуги, средства индивидуальной защиты ног (обувь) от термических рисков электрической дуги, экранирующие средства индивидуальной защиты, средства индивидуальной защиты от воздействия статического электричества);
- СИЗ от механических воздействий (в том числе одежда специальная защитная от механических воздействий и общих производственных загрязнений, средства индивидуальной защиты от падения с высоты и средства спасения с высоты);
- СИЗ от повышенных и (или) пониженных температур;
- СИЗ от химических факторов (средства индивидуальной защиты органов дыхания);

- комплексные СИЗ.

Электрозащитные средства – переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих в электроустановках, от поражения электрическим током, воздействия электрической дуги и электромагнитного поля.

Электрозащитные средства делятся на основные и дополнительные.

Основные электрозащитные средства – средства защиты, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановок и которые позволяют работать на токоведущих частях, находящихся под напряжением.

К основным электрозащитным средствам для электроустановок напряжением до 1 кВ относятся:

- электроизолирующие штанги всех видов;
- электроизолирующие и электроизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- электроизолирующие перчатки;
- ручной электроизолирующий инструмент;
- электроизолирующие средства и приспособления для проведения работ под напряжением на воздушных линиях 0,4 кВ.

Дополнительные электрозащитные средства – средства защиты, дополняющие основные средства, а также служащие для защиты от напряжения прикосновения и напряжения шага, которые сами по себе не могут при данном напряжении обеспечить защиту от поражения электрическим током, а применяются совместно с основными электроизолирующими средствами.

К дополнительным электрозащитным средствам для работы в электроустановках напряжением до 1 кВ относятся:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры и электроизолирующие подставки;
- электроизолирующие колпаки и накладки;
- заземления переносные;
- электроизолирующие приставные лестницы и стремянки;
- плакаты и знаки безопасности;
- оградительные устройства.

Кроме перечисленных средств защиты, в электроустановках применяются следующие СИЗ:

- СИЗ головы (каска защитные);
- СИЗ глаз (очки защитные) и лица (щитки защитные лицевые);
- СИЗ органов дыхания (противогазы, защитные маски, респираторы);
- СИЗ органов слуха;
- СИЗ рук;
- СИЗ от падения с высоты и средства спасения с высоты;
- одежда специальная защитная;
- СИЗ ног.

При использовании основных электрозащитных средств достаточно применения одного дополнительного электрозащитного средства, если иное не указано в эксплуатационной документации изготовителя.

Работающие, обслуживающие электроустановки, должны быть обеспечены всеми необходимыми средствами защиты, обучены правилам применения и обязаны пользоваться ими для обеспечения безопасности работы.

Электрозащитными средствами следует пользоваться по их прямому назначению в электроустановках того напряжения, на которое они рассчитаны.

Основные и дополнительные электрозащитные средства рассчитаны на применение в закрытых электроустановках, а в открытых электроустановках и на воздушных линиях электропередачи – только в сухую погоду. На открытом воздухе в сырую погоду могут применяться только средства защиты специальной конструкции, предназначенные для работы в таких условиях.

Применение влажных и загрязненных электроизолирующих средств защиты запрещается.

Перед каждым использованием средства защиты работающий обязан проверить его исправность, отсутствие внешних повреждений, загрязнений, проверить по штампу срок годности, прохождение испытаний. Непригодные средства защиты должны быть изъяты из эксплуатации.

2. Экспериментальная часть

2.1. Работа с измерителем заземления М-416

Переключатель устанавливается в положение «Контроль 5 Ом».

Удерживая в нажатом состоянии красную кнопку, вращением ручки «Реохорд» стрелка индикатора выводится на нулевую отметку. На шкале реохорда при этом должно быть показание $5 \pm 0,5$ Ом.

Собирается схема, как показано на рис. 11.5.

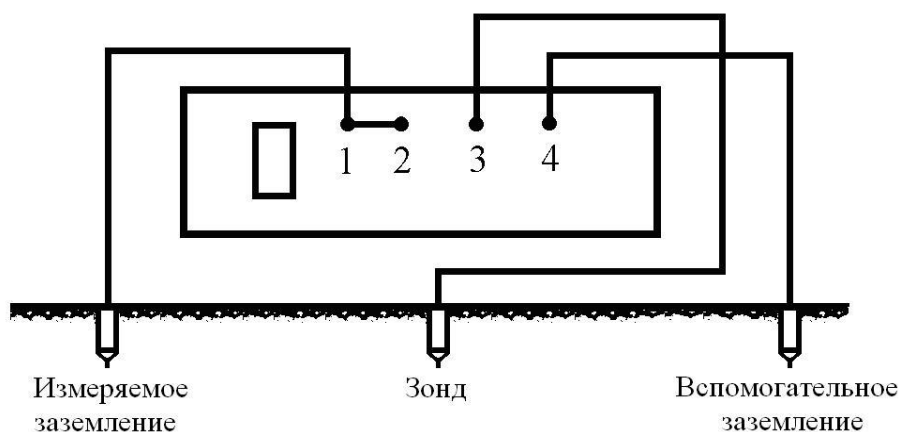


Рис. 11.5. Схема подключения прибора М-416

Переключатель устанавливается в положение « $\times 1$ ».

Удерживая в нажатом состоянии красную кнопку, вращением ручки «Реохорд» стрелка индикатора выводится на нулевую отметку. Результат определяется по шкале реохорда.

Если измеренное сопротивление окажется больше 10 Ом (стрелка индикатора не выводится на нулевую отметку), то переключатель устанавливается в положение « $\times 5$ », « $\times 20$ » или « $\times 100$ ». Результат измерения равен произведению показания шкалы реохорда и множителя.

2.2. Работа с прибором для контроля сопротивления изоляции мегомметром М1101М

Прибор состоит из генератора постоянного тока с ручным приводом, логометра и добавочных сопротивлений.

Шкала прибора имеет два ряда отметок: правая шкала соответствует пределу измерения от 0 до 500 МОм, левая от 0 до 1000 кОм (рис. 11.6). Для переключения прибора на ту или иную шкалу имеется специальный переключатель «кОм/МОм». Измеряемое сопротивление присоединяется к зажимам «Линия» и «Земля».

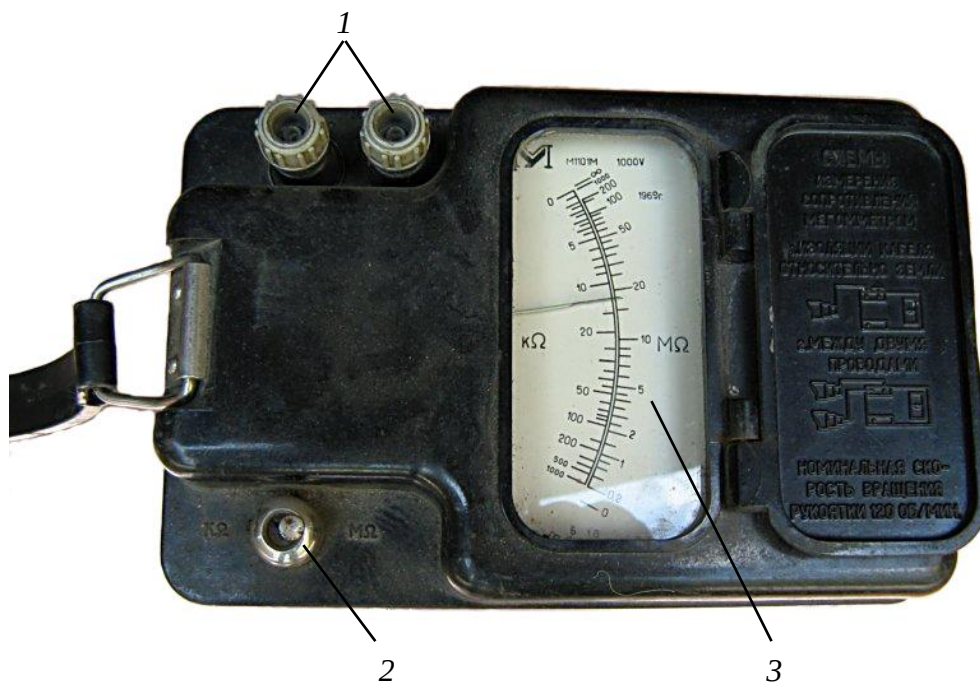


Рис. 11.6. Внешний вид мегомметра М1101М:
1 – зажимы «Линия» и «Земля»; 2 – переключатель «кОм/МОм»;
3 – измерительная шкала

Перед измерениями необходимо убедиться в отсутствии напряжения в испытуемых цепях и в исправности прибора. **Проводить измерения в цепях, находящихся под напряжением, запрещается!**

Для проверки исправности прибора необходимо: установить его горизонтально, отстегнуть ручку для переноски, открыть крышку смотрового окна, переключатель пределов измерения «кОм/МОм» поставить в положение «МОм», установить ручку генератора в рабочее положение (находится с правой стороны прибора).

В исправном приборе при вращении рукоятки по часовой стрелке со скоростью 120 об./мин стрелка должна установиться на отметке « ∞ » шкалы «М Ω ».

Для измерения сопротивления жил кабеля относительно земли к клемме «Земля» прибора подключается с помощью соединительного провода исправное (допустимое по ТКП 339-2022) заземляющее устройство, а к клемме «Линия» – поочередно все жилы кабеля. Переключатель пределов измерения устанавливается в положение «М Ω ». Плавное вращение рукоятки прибора по часовой стрелке с номинальной скоростью 120 об./мин, производится отсчет по соответствующей шкале.

Для измерения сопротивления всех жил кабеля относительно друг друга жилы, сопротивление которых измеряется, подключаются к клеммам прибора, причем не имеет значения, какую жилу и к какой клемме подключать.

2.3. Порядок выполнения работы

Лабораторный стенд (рис. 11.7) разделен на две части. Слева выведены три клеммы, эмитирующие измеряемые заземляющие устройства, а также клеммы «Зонд» и «Вспомогательное заземление». Справа выведены жилы пятижильного кабеля.

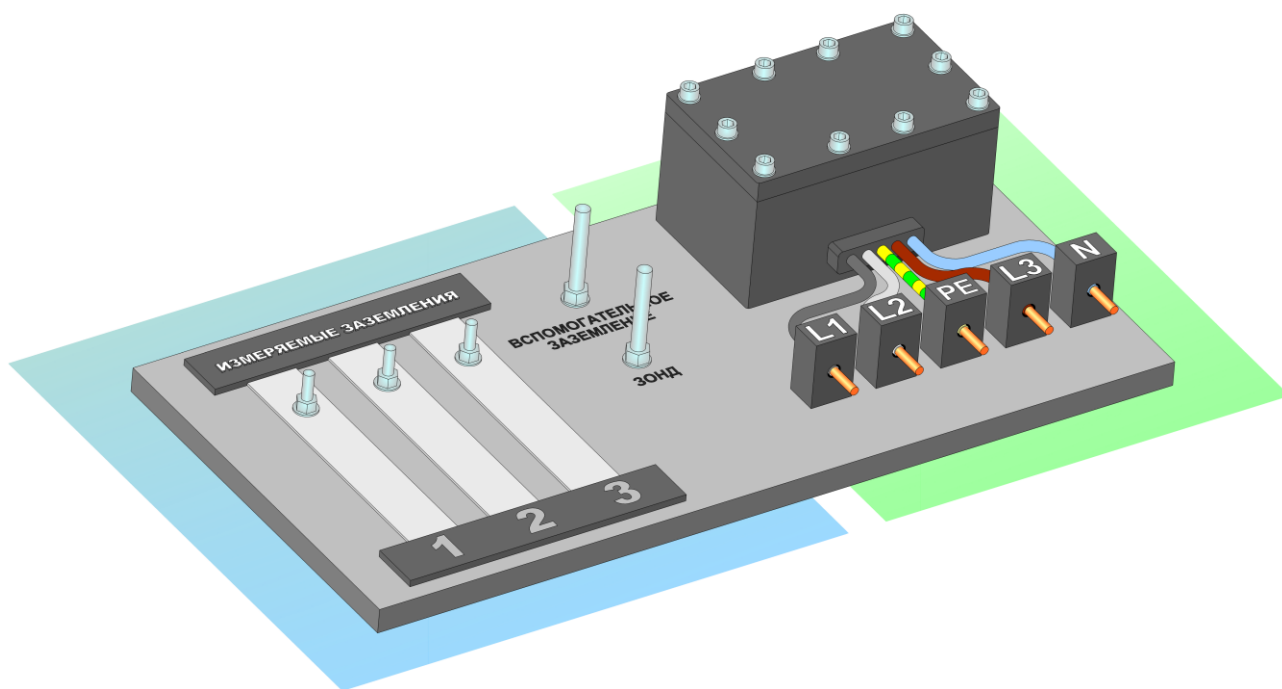


Рис. 11.7. Внешний вид лабораторного стенда:

1. Измерение сопротивления заземляющего устройства

При измерении сопротивления заземляющего устройства необходимо измерить три заземления и определить, какие из них соответствуют требованиям ТКП 339-2022.

Измерения произвести в соответствии с описанием работы прибора М-416 согласно п. 2.1. Результаты измерений и выводы о сопротивлении заземлителей занести в табл. 11.4.

Таблица 11.4

Результаты измерения сопротивления заземлителей

Номер заземлителя	Величина сопротивления, Ом	Выводы о качестве заземления (допустимо, недопустимо)
1		
2		
3		

2. Измерение сопротивления изоляции электропроводов

Для измерения сопротивления изоляции проводов пятижильного кабеля используйте описание работы прибора M1101M согласно п. 2.2.

Измерение сопротивления жил кабеля относительно земли проводить, используя исправное заземление (из трех, измеренных выше в п. 1). При измерении сопротивления всех жил кабеля относительно друг друга вначале измеряется сопротивление 1-й жилы кабеля относительно оставшихся 2-й, 3-й, ..., 5-й; затем 2-й жилы относительно – 3-й, 4-й, 5-й и т. д. Результаты измерений занести в табл. 11.5.

Таблица 11.5

Результаты измерения сопротивления изоляции проводов

Сопротивление изоляции жил кабеля относительно друг друга, МОм						Сопротивление изоляции жил кабеля относительно земли, МОм	Вывод о качестве изоляции (допустимо, недопустимо)
—	L1	L2	L3	N	PE		
L1	—						
L2		—					
L3			—				
N				—			
PE					—		

Сделать выводы по результатам измерений.

Контрольные вопросы

1. Как подразделяются помещения по характеру окружающей среды согласно ТКП 339-2022?
 2. Классификация помещений по опасности поражения электрическим током и применяемые малые напряжения.
 3. Назовите виды электрической изоляции.
 4. Требования, предъявляемые к изоляции электрических проводов и периодичность контроля.
 5. Какие способы и средства используются для обеспечения электробезопасности?
 6. В каких сетях применяется защитное заземление оборудования?
 7. Как выполняется защитное заземление оборудования?
 8. Какие факторы влияют на эффективность заземляющего устройства?
- Периодичность контроля.

9. В каких сетях применяется зануление электрического оборудования?
10. Как выполняется зануление оборудования?
11. Какие электрозащитные средства Вы знаете?
12. Приборы контроля сопротивления заземляющих устройств и изоляции электрических проводов.

Литература

1. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний = Электраўстаноўкі на напружанне да 750 кВ. Лініі электраперадачы паветраныя і токаправоды, прылады размеркавальныя і трансфарматарныя падстанцыі, ўстаноўкі электросиловые і акумулятарныя, Электраўстаноўкі жылых і грамадскіх будынкаў. Правілы прылады і ахоўныя меры электрабяспекі. Ўлік электраэнергіі. Нормы прыёма-здачных выпрабаванняў: ТКП 339-2022 (33240). – Введ. 20.12.2022. – Минск: М-во энергетыкі Респ. Беларусь, 2022. – 604 с.

2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей = Правілы тэхнічнай эксплуатацыі электраўстановак спажываўцоў: ТКП 181-2023 (33240). – Введ. 28.02.2025. – Минск: М-во энергетыкі Респ. Беларусь, 2025. – 516 с.

3. Средства защиты, используемые в электроустановках. Правила применения и испытания = Сродкі аховы, якія выкарыстоўваюцца ў электраўстаноўках. Правілы прымянення і выпрабаванні: ТКП 290-2026 (33240). – Введ. 17.08.2026. – Минск: М-во энергетыкі Респ. Беларусь, 2026. – 114 с.

4. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.2.007.0–75. – Введ. 01.01.78. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 12 с.

5. Гармаза, А. К. Охрана труда: учебник для студентов по специальностям «Лесное хозяйство», «Садово-парковое строительство», «Туризм и природопользование», «Лесоинженерное дело», «Машины и оборудование лесного комплекса», «Технология деревообрабатывающих производств»: в 2 ч. / А. К. Гармаза, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск : БГТУ, 2018. Ч. 1 – 299 с.; Ч. 2 – 170 с.