

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

А. Ю. Хомяков

Т. А. Сошникова

В. И. Туев

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ:
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Методические указания для подготовки студентов всех направлений и
специальностей

Томск

2020

УДК 614.8

ББК 68.9

X–76

Рецензент:

Озеркин Д.В., декан радиоконструкторского факультета ТУСУР,
канд. техн. наук, доцент

Хомяков Артем Юрьевич

X-76 **Безопасность жизнедеятельности: лабораторный практикум: методические указания по организации и проведению лабораторной практики для студентов всех направлений подготовки и специальностей / А. Ю. Хомяков, Т. А. Сошникова, В. И. Туев. –Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – 42 с.**

Настоящее учебно-методическое пособие по организации и проведению эксплуатационной практики для студентов составлено с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС).

Учебно-методическое пособие является руководством к лабораторным работам по безопасности жизнедеятельности. Приводятся необходимые теоретические сведения по каждому вопросу, описание применяемых установок и приборов, методика проведения исследований и оформления полученных результатов.

Одобрено на заседании кафедры РЭТЭМ, протокол №67 от 28.08.2020

УДК 614.8
ББК 68.9

© Хомяков А. Ю., Сошникова Т. А.,
Туев В. И., 2020

© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Лабораторная работа № 1 «Меры защиты человека от поражения электрическим током в жилых и офисных помещениях».....	5
2 Лабораторная работа № 2 «Определение электрического сопротивления тела человека»	16
3 Лабораторная работа № 3 «Защитное действие зануления и заземления от поражения электрическим током».....	25
Список рекомендуемой литературы.....	42

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания построены таким образом, что студент имеет возможность ознакомиться с целью, планом представленной лабораторной работы, теоретической частью, методикой выполнения работы, а также списком контрольных вопросов для проверки и закрепления полученных знаний.

Правила выполнения лабораторных работ:

- 1) Студент должен прийти на занятие подготовленным.
- 2) Каждый студент после проведения лабораторной работы должен представить отчет о проделанной работе с расчетом полученных результатов и ответами на контрольные вопросы.
- 3) Если студент не выполнил работу или часть работы, то он может выполнить ее во внеурочное время, согласованное с преподавателем.
- 4) Зачет по практическим работам студент получает при условии выполнения всех, предусмотренных программой, работ после сдачи всех отчетов по работам при получении удовлетворительных оценок.

1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 «МЕРЫ ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ В ЖИЛЫХ И ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ»

Цель работы: изучение мер защиты человека от поражения электрическим током в жилых и офисных помещениях с помощью устройства автоматического отключения питания при сверхтоках и устройства защитного отключения.

Оборудование:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Модель питающей электрической сети	387.1	~ 220 В / 50 ВА
A2	Модель электроприемника класса I (0, 01)	388.1	~ 220 В
A3	Модель человека	309.1	~ 220 В / 1 кОм
A4	Модель электроприемника класса II	388.2	~ 220 В
A5	Устройство защитного отключения	321.1	~ 220 В / 16 А / 10 мА
A11	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	~ 220 В / 0,5 А
P1	Блок мультиметров	509.2	два мультиметра 0,1000 В 0,10 А 0,20 МОм

План работы:

- изучение теоретической части;
- ознакомление с принципами работы устройства автоматического отключения питания при сверхтоках и устройства защитного отключения;
- выполнение экспериментальной части;
- оформление полученных результатов, составление отчета;
- защита отчета преподавателю.

1.1 Теоретическая часть

Электробезопасность (по ГОСТ 12.1.009–2017 "ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения") обеспечивается организационными и техническими мероприятиями, конструкцией электроустановок, применением технических методов, средств защиты.

Организационные меры защиты. Применение защитных мер регламентируется нормативными документами по электробезопасности: Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), утвержденными приказом Минэнерго России от 8 июля 2002 г. № 204; Межотраслевыми правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТ Р М-016-01),

утвержденными постановлением Минтруда России от 5 января 2001 г. № 3; Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП-2003), утвержденными приказом Минэнерго России от 12 января 2003 г. № 6.

Электроустановками называются машины, в которых производится, преобразуется, распределяется и потребляется электроэнергия. Меры защиты должны соответствовать виду электроустановки и условиям применения электрооборудования, обеспечивая достаточную безопасность.

Опасность поражения в электроустановках и его тяжесть зависят от номинального напряжения. Согласно ПУЭ электроустановки подразделяются на работающие под напряжением более 1 кВ с глухозаземленной нейтралью (чаще используются сети напряжением $U = 110 - 750$ кВ) и с изолированной нейтралью (6, 10, 20, 35 кВ) и работающие под напряжением менее 1 кВ с глухозаземленной и с изолированной нейтралью.

Электрические сети напряжением до 1 кВ выполняются, как правило, трехфазными: 660, 380, 220 В. Чаще применяют четырехпроводные сети напряжением 380/220 В. В ряде производств недопустимо использование сетей с глухозаземленной нейтралью. Силовые электроустановки напряжением 660, 380, 220 В, работающие с изолированной нейтралью, имеют меньшую опасность при однофазном прикосновении ввиду большого сопротивления изоляции проводов.

Классификация помещений. Безопасность при эксплуатации электроустановок существенно зависит от повышенной влажности и температуры воздуха, запыленности и загазованности помещений. Согласно ПУЭ все помещения по опасности поражения током делят на три категории:

- 1) помещения без повышенной опасности;
- 2) помещения с повышенной опасностью;
- 3) особо опасные помещения.

При этом выделяют следующие признаки повышенной опасности:

- наличие токопроводящих полов – металлических, железобетонных, кирпичных и т.п.;

- сырость помещений при относительной влажности воздуха более 75%;

- высокая температура воздуха ($t > 35$ °С);

- токопроводящая пыль (металлическая, угольная и др.). Пыльными считаются помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она проникает внутрь машин и оборудования;

- возможность одновременного прикосновения человека к заземленной металлоконструкции и к металлическому корпусу электроустановки;

- коэффициент заполнения помещения электрооборудованием более 0,2.

Признаки особой опасности:

- особая сырость ($\phi \approx 100\%$ – стены, пол и потолок покрыты влагой);

- наличие химически активной среды (агрессивные пары, газы, жидкости).

Классификация обслуживающего персонала по электробезопасности. Существует пять квалификационных групп по охране труда, зависящих от типа электроустановок и рода работы. Для эксплуатации ручного электрооборудования достаточна первая квалификационная группа. Для управления электрооборудованием с напряжением U менее 1000 В необходима квалификация персонала не ниже второй группы, для работы на электроустановках с U более 1000 В – не ниже третьей.

Способы и меры защиты от поражения электрическим током. Технические способы и средства защиты приведены в ГОСТ 12.1.019–2017 "Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты". Для обеспечения электробезопасности должны применяться отдельно или в сочетании друг с другом следующие технические способы и средства: защитное заземление; зануление; выравнивание потенциалов; электрическое разделение сетей; защитное отключение; изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, усиленная, двойная); оградительные устройства; предупредительная сигнализация, блокировка; знаки безопасности; средства защиты и предохранительные приспособления.

Защита от прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям достигается дополнительной или усиленной изоляцией токоведущих частей; расположением токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте; использованием ограждений: сплошных в виде кожухов и крышек (в электроустановках $U < 1$ кВ) и сетчатых; применением блокировок, предупредительной сигнализации, знаков безопасности. По принципу действия блокировки делятся на механические и электрические. Например, в аппаратуре автоматики и ЭВМ применяют штепсельное соединение отдельных блоков, т.е. механическую блокировку. Электрическая блокировка осуществляет отключение электроустановки при открытии дверей, ограждений, крышек кожухов.

Малое напряжение и электрическое разделение сетей используют для повышения безопасности при работе в основном с ручным электрифицированным инструментом.

Малое напряжение – это номинальное напряжение $U_n \leq 42$ В, применяемое в целях уменьшения опасности поражения электрическим током. Наибольшая степень безопасности достигается при напряжении до 10 В (сила тока при случайном прикосновении $I_h = \frac{10}{1000} = 0,01$ А). Источники малого напряжения: батареи, аккумуляторы, трансформаторы – должны быть максимально приближены к потребителю. Для ручного электроинструмента и местного освещения в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных помещениях используют напряжение 12, 36, 42 В.

Электрическое разделение сетей: разветвленная сеть большой протяженности имеет значительную емкость и небольшое активное сопротивление изоляции относительно земли; ток замыкания на землю в такой сети может достигать значительной величины, поэтому однофазное прикосновение в сети является опасным. Опасность поражения резко снизится, если единую сильно разветвленную сеть с большой емкостью и малым сопротивлением разделить на ряд небольших сетей с незначительной емкостью и высоким сопротивлением изоляции с помощью специальных разделяющих трансформаторов.

Защитное заземление, зануление и защитное отключение являются наиболее распространенными техническими средствами для защиты персонала при прикосновении к токоведущим частям электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением из-за повреждения изоляции.

Защитное заземление или зануление выполняют:

а) во всех случаях при номинальном переменном напряжении $U_{\text{Нпер}} \geq 380\text{В}$ и постоянном напряжении $U_{\text{Нпост}} \geq 440\text{В}$;

б) в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при номинальном переменном $U_{\text{Нпер}} = 42 - 380\text{В}$ и постоянном $U_{\text{Нпост}} = 110 - 440\text{В}$. Таким образом, электроустановки, работающие под напряжением до 42 В переменного и до 110 В постоянного тока, не требуют защитного заземления и зануления, за исключением некоторых случаев, оговоренных в ПУЭ.

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Принцип действия защитного заземления состоит в снижении до безопасных значений напряжения прикосновения и силы тока, проходящего через человека, обусловленных замыканием на корпус (рисунок 1.1). При заземлении корпуса происходит замыкание на землю; прикосновение к заземленному корпусу вызывает появление параллельной ветви, по которой часть тока замыкания проходит на землю через тело человека. Сила тока в параллельных цепях обратно пропорциональна сопротивлениям цепей, поэтому ток, проходящий через тело человека I_h , безопасен.

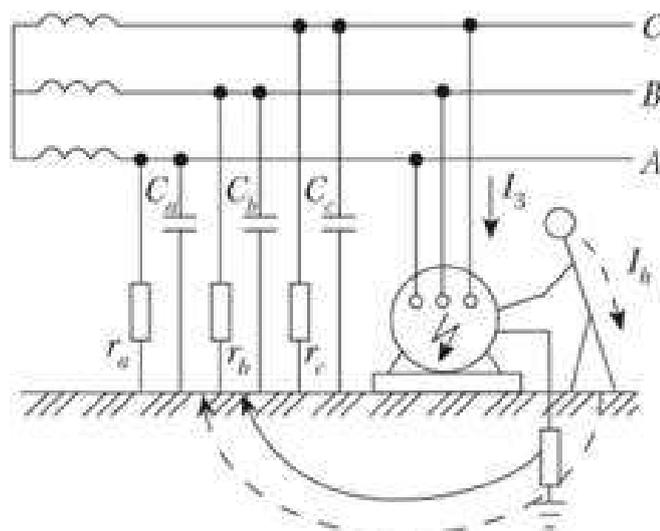


Рисунок 1.1 – Схема защитного заземления

Область применения защитного заземления – трехфазные сети напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью и сети напряжением более 1 кВ как с изолированной, так и с заземленной нейтралью.

Заземляющее устройство состоит из заземлителя (одного или нескольких металлических элементов, погруженных на определенную глубину в грунт) и проводников, которые соединяют заземляемое оборудование с заземлителем. В зависимости от расположения заземлителей относительно оборудования заземляющие устройства делятся на выносные и контурные. Выносное устройство располагается на некотором удалении от оборудования. Преимуществом такого типа заземляющего устройства является возможность выбора места размещения, недостатком – отдаленность заземлителя от защищаемого оборудования. Контурное устройство, заземлители которого расположены по контуру вокруг заземляемого оборудования, обеспечивают лучшую защиту.

Основной элемент заземляющего устройства – естественный или искусственный заземлитель. Естественными заземлителями могут быть металлические и железобетонные части коммуникаций и других сооружений, имеющие надежное соединение с землей. Для искусственных заземлителей применяют обычно вертикальные и горизонтальные элементы. В качестве вертикальных элементов используют стальные трубы, уголки, прутки, которые соединяют прочно между собой горизонтальными элементами из полосовой стали. Для заземляющих проводников используют полосовую и круглого сечения сталь.

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических токоведущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Это основное средство обеспечения электробезопасности в трехфазных сетях с заземленной нейтралью и номинальным напряжением менее 1 кВ (обычно 220/127, 380/220, 660/380 В). В таких сетях уменьшить напряжение на корпусе, контактирующем с

токоведущими частями, невозможно, но можно повысить безопасность оборудования, уменьшив длительность замыкания на корпус. В сети с занулением различают (рисунок 1.2): нулевой рабочий проводник НР (для питания током электроприемников) и нулевой защитный проводник НЗ (для зануления).

Зануление превращает замыкание на корпус в однофазное короткое замыкание, возникает ток большого значения, в результате чего срабатывает максимальная токовая защита, которая селективно отключает поврежденный участок. Для того чтобы быстро отключить аварийный участок, ток короткого замыкания, согласно ПУЭ, должен не менее чем в три раза превышать номинальный ток через плавкую вставку или в 1,25 – 1,4 раза номинальный ток автоматического выключателя. Расчет зануления заключается в определении сечения нулевого провода, удовлетворяющего условию срабатывания максимальной токовой защиты. Если зануленный корпус одновременно заземлен, то это улучшает условия безопасности, так как обеспечивает дополнительное заземление нулевого защитного (НЗ) провода.

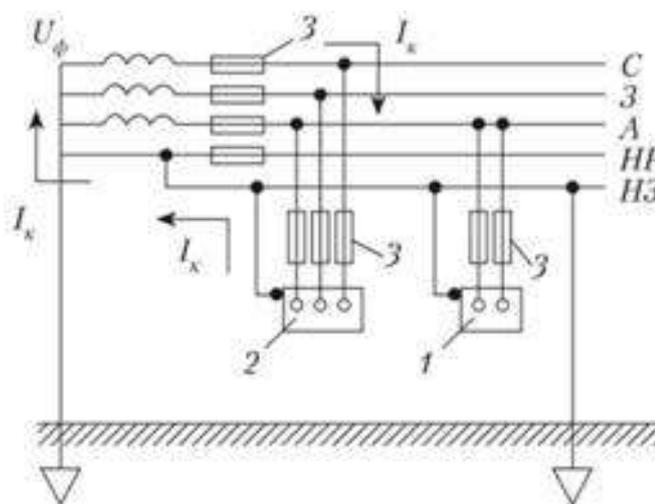


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема зануления в трехфазной сети с нулевым рабочим и нулевым защитным проводниками
1, 2 – корпуса одно- и трехфазного приемников тока; 3 – плавкие предохранители, I_k – ток однофазного короткого замыкания, U_ϕ – фазное напряжение

Защитное отключение – это быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током. Подобная опасность возникает при повреждениях установки, таких как замыкание на землю; снижение сопротивления изоляции; неисправности заземления, зануления или устройства защитного отключения.

Повреждение установки приводит к изменениям некоторых величин, которые можно использовать как входные величины автоматического устройства, осуществляющего защитное отключение. Например, напряжение

корпуса относительно земли, напряжение нулевой последовательности (несимметрия напряжения фаз относительно земли), ток замыкания на землю, ток нулевой последовательности и другие параметры могут быть восприняты датчиком автоматического устройства как входная величина (время срабатывания менее 0,2 с). Защитное отключение можно использовать в качестве единственной или основной меры защиты совместно с дополнительным заземлением или занулением или в дополнение к заземлению или занулению.

Электрозащитные средства применяются для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, воздействия электрической дуги и электромагнитного поля. По характеру применения электрозащитные средства подразделяются на две категории: средства коллективной и средства индивидуальной защиты.

Электрозащитные средства могут быть основными и дополнительными. Основными являются средства защиты, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановки и которые позволяют прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Средства защиты, которые сами по себе не могут при данном напряжении обеспечить защиту от поражения током, а применяются совместно с основными электрозащитными средствами, служат дополнительными средствами.

1.2 Методика выполнения работы и обработка результатов

Защитное действие устройства автоматического отключения питания при сверхтоках

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 1.3.

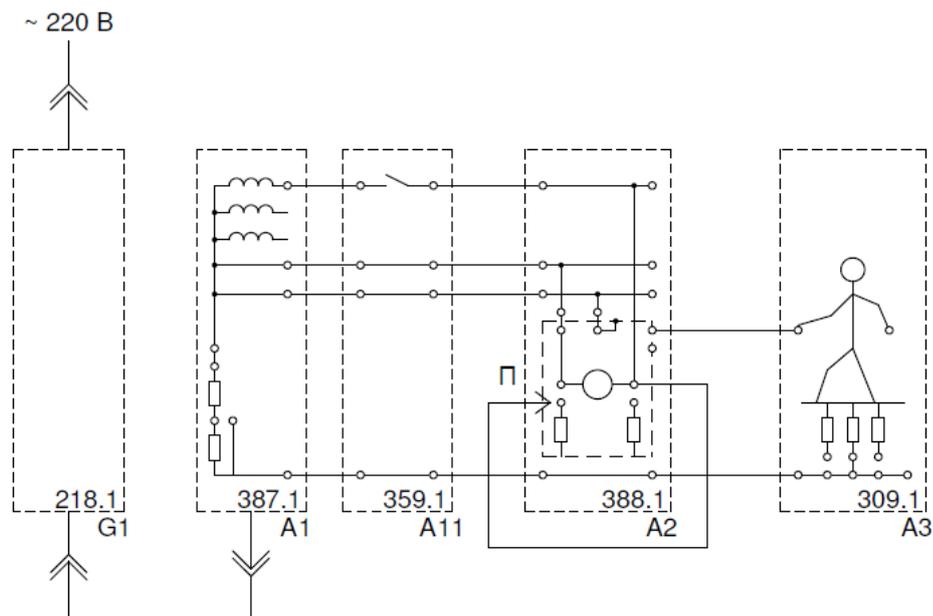


Рисунок 1.3 – Схема для выявления защитного действия устройства автоматического отключения питания при сверхтоках

Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети.

Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.

Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1.

Включите автоматический выключатель A11. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника A2.

Смоделируйте нарушение изоляции электроприемника A2 соединением конца проводника «П» с его гнездом, как это показано на рисунке 1.3. При этом автоматический выключатель A11 должен отключиться, подтверждая, тем самым, свое защитное действие.

По завершении эксперимента отключите автоматический выключатель однофазного источника питания G1 и выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети.

Вид обуви человека и тип пола, на котором он стоит, можно варьировать, проводя эксперименты с другими сопротивлениями стеканию тока с ног человека в землю.

Действие устройства защитного отключения

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 1.4.

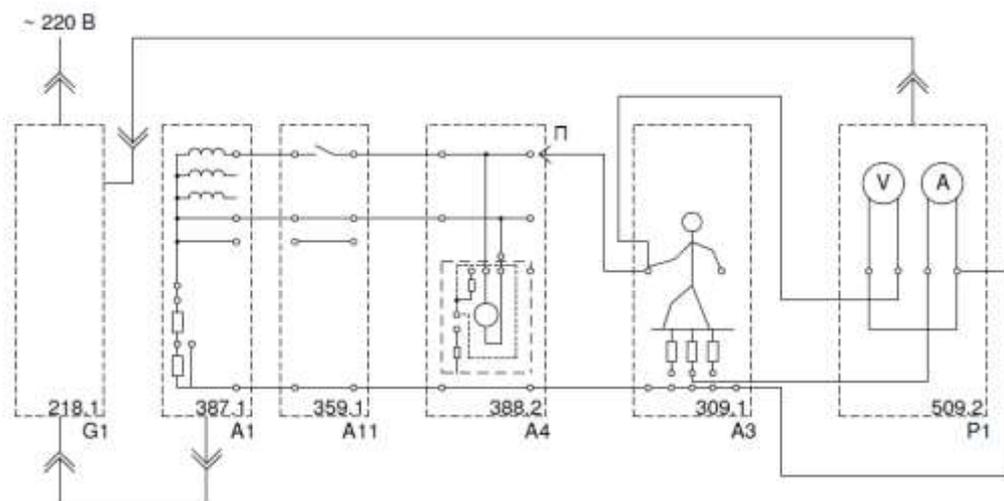


Рисунок 1.4 - Схема для выявления действия устройства защитного отключения без устройства защитного отключения

Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели А1 питающей электрической сети.

Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.

Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.

Активизируйте используемые мультиметры.

Включите выключатель «СЕТЬ» модели А1 питающей электрической сети.

Включите автоматический выключатель А11. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника А4.

Смоделируйте прямое прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, соединением конца проводника «П» с гнездом электроприемника А4, как это показано на рисунке 1.4.

С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения.

Отключите автоматические выключатели А11 и однофазного источника питания G1, выключатели «ПИТАНИЕ» модели А1 питающей электрической сети и «СЕТЬ» блока мультиметров P1.

Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 1.5.

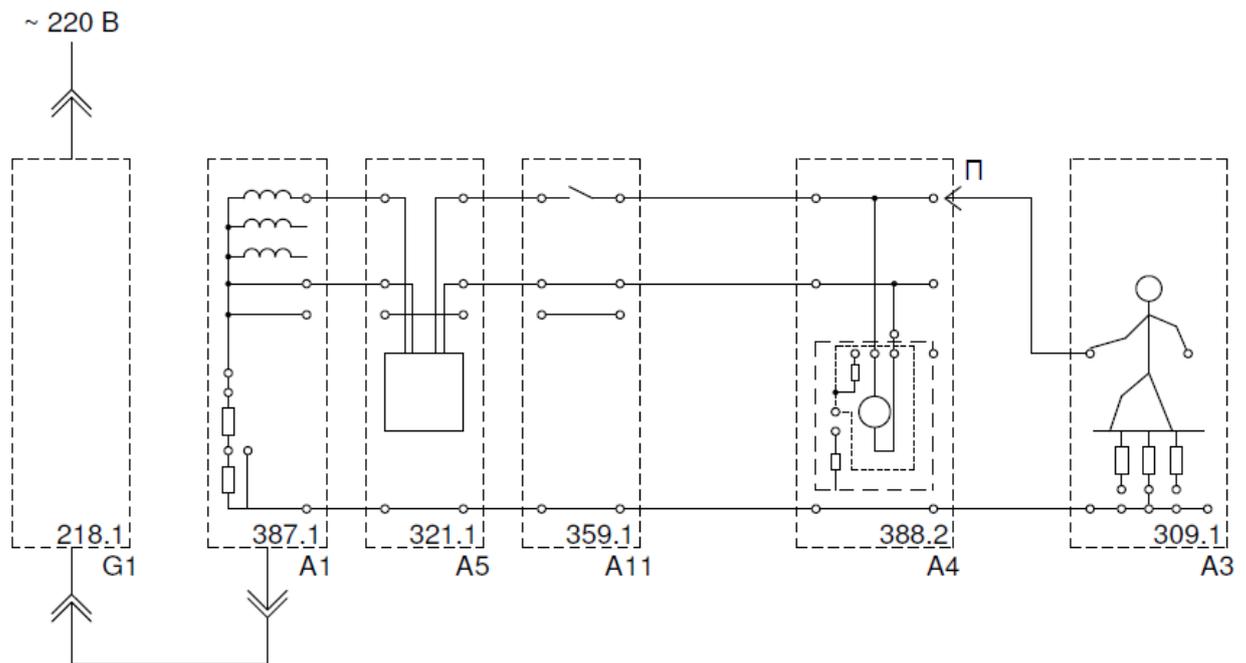


Рисунок 1.5 - Схема для выявления действия устройства защитного отключения

Включите автоматические выключатели в однофазном источнике питания G1.

Включите устройство защитного отключения A5.

Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети.

Включите автоматический выключатель A11. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника A4.

Смоделируйте прямое прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, соединением проводника «П» с гнездом электроприемника A4, как это показано на рисунке 1.5. При этом должно отключиться устройство защитного отключения A5, подтверждая, тем самым, свое защитное действие.

По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели A11 и однофазного источника питания G1, а также - выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети.

Вид обуви человека и тип пола, на котором он стоит, можно варьировать, проводя эксперименты с другими сопротивлениями стеканию тока с ног человека в землю.

Сопоставьте результаты экспериментов и сделайте вывод о наличии или отсутствии защитного действия устройства автоматического отключения питания при сверхтоках и устройства защитного отключения.

Контрольные вопросы

- 1) Электроустановки. Виды и опасность поражения в электроустановках.
- 2) Классификация помещений.
- 3) Малое напряжение и электрическое разделение сетей.
- 4) Защитное заземление.

- 5) Зануление.
- 6) Защитное отключение.
- 7) Электрозащитные средства.

2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА»

Цель работы: определение зависимостей, характеризующих электрическое сопротивление тела человека.

Оборудование:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
-	Устройство для исследования сопротивления тела человека	341	0,7 В ~; 0,03 А

План работы:

- изучение теоретической части;
- выполнение экспериментальной части;
- оформление полученных результатов, составление отчета;
- ответы на контрольные вопросы.
- защита отчета преподавателю.

2.1 Теоретическая часть

2.1.1 Действие электрического тока на организм человека

Электрические установки, с которыми приходится иметь дело всем работающим на производстве, представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут на расстоянии обнаружить наличие электрического напряжения на оборудовании.

Действие электрического тока на организм человека носит своеобразный и разносторонний характер. Можно выделить четыре основных вида действия электрического тока на организм человека: термическое, электролитическое, биологическое и механическое.

Термическое действие электрического тока проявляется в ожогах участков тела, в нагреве кровеносных сосудов, внутренних органов, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства.

Электролитическое действие электрического тока заключается в разложении на компоненты крови, лимфы и других биологических жидкостей, что нарушает их физико-химический состав и нормальное функционирование.

Биологическое действие электрического тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что сопровождается судорожными сокращениями мышц, нарушением и даже прекращением деятельности жизненно важных систем и органов человека.

Механическое действие электрического тока может выражаться в виде разрывов, расслоений и других подобных повреждений тканей организма

(мышечных тканей, внутренних органов, кровеносных сосудов, нервных путей и т.п.).

Перечисленные действия электрического тока могут привести к возникновению электротравм. Все электротравмы можно условно разделить на местные электротравмы, когда возникает местное повреждение организма, и общие электротравмы (так называемые электрические удары), когда поражается весь организм из-за нарушения нормального функционирования жизненно важных органов и систем. Оба вида травм часто сопутствуют друг другу.

Местные электротравмы – это ярко выраженные нарушения целостности тканей организма. Обычно это поражение кожи, реже – других мягких тканей, а также связок и костей. К характерным местным электротравмам относятся электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и механические электротравмы.

Электрические ожоги делятся на токовые (контактные), возникающие при прохождении тока непосредственно через тело человека, и дуговые, обусловленные тепловым воздействием на тело электрической дуги.

Электрические знаки представляют собой четко очерченные пятна серого или бледно-жёлтого цвета на поверхности кожи.

Металлизация кожи – это проникновение в верхние слои кожи паров и мельчайших частиц расплавленного металла при возникновении электрической дуги.

Электроофтальмия – это воспаление наружных оболочек глаз под действием мощного потока ультрафиолетовых лучей, которые энергично поглощаются клетками организма и вызывают в них химические изменения.

Механические электротравмы возникают в результате резких судорожных сокращений мышц непосредственно под действием протекающего по ним электрического тока. В результате могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани, а также вывихи суставов и даже переломы костей.

Электрические удары (общие электротравмы) возникают в случаях, когда электрическим током поражается организм человека в целом. Они сопровождаются судорожными сокращениями мышц и функциональными расстройствами в организме, проявляющимися сразу после воздействия тока или через несколько часов, дней и даже месяцев.

В зависимости от тяжести поражения электрические удары условно делятся на четыре степени:

1-я степень характеризуется судорожными сокращениями мышц без потери сознания;

2-я степень характеризуется судорожными сокращениями мышц с потерей сознания;

3-я степень характеризуется нарушением работы сердца или органов дыхания;

4-я степень характеризуется отсутствием дыхания и кровообращения (состояние клинической смерти).

Причинами смерти от электрического тока могут быть прекращение работы сердца, прекращение дыхания или электрический шок.

Прекращение работы сердца возможно как в результате прямого воздействия тока на мышцу сердца, так и рефлекторно, т. е. через центральную нервную систему. В обоих случаях возможна остановка сердца или его фибрилляция (фибрилляция – это беспорядочное сокращение волокон сердечной мышцы, при котором сердце не в состоянии выполнять функции кровяного насоса).

Прекращение дыхания вызывается прямым или рефлекторным действием тока на мышцы грудной клетки.

Электрический шок – своеобразная реакция организма в ответ на чрезмерное раздражение током, сопровождающаяся глубокими расстройствами кровообращения, дыхания, обмена веществ. Шоковое состояние может продолжаться от нескольких минут до суток. После этого может наступить или выздоровление, как результат своевременного активного лечебного вмешательства, или гибель в результате полного угасания жизненно важных функций.

2.1.2 Факторы, влияющие на исход поражения человека током

Характер и тяжесть поражения электрическим током зависят от ряда факторов, таких как величина и длительность протекания тока через тело человека, путь тока в теле человека, род и частота действующего тока, индивидуальные свойства человека и параметры окружающей среды.

Электрическое сопротивление тела человека и приложенное к нему напряжение также влияют на исход поражения, но лишь постольку, поскольку они определяют значение тока, проходящего через тело человека, поэтому их можно считать косвенными факторами.

Значение силы тока, протекающего через тело человека, является основным фактором, влияющим на исход поражения.

Реакции организма при протекании тока частотой 50 Гц по пути «рука-рука» или «рука-ноги» – следующие. При токах до 0,6 мА ощущения не наблюдаются.

При токах, превышающих в среднем 1 мА и называемых ощутимыми токами, появляются ощущения слабого зуда и легкого пощипывания. При токах в несколько мА происходят судорожные сокращения мышц и болезненные ощущения, которые с ростом тока усиливаются и распространяются на все большие участки тела. При токах более 10 мА (в среднем 15 мА), называемых неотпускающими, возникает едва переносимая боль, а судороги мышц руки становятся непреодолимыми, и человек не в состоянии разжать руку, в которой зажата токоведущая часть. Токи 25 – 50 мА приводят к параличу рук и

сильному затруднению дыхания из-за судорожных сокращений мышц грудной клетки.

Кроме того, резко повышается кровяное давление из-за сужения кровеносных сосудов, ухудшается работа сердца. При токах более 50 мА наблюдается паралич дыхания. В диапазоне токов от 50 мА до 5 А при времени воздействия 1 – 3 с происходит фибрилляция сердца. Токи в 5 А и более вызывают немедленную остановку сердца, минуя состояние фибрилляции, однако после отключения тока дыхание, как правило, самостоятельно не восстанавливается, и требуется оказывать помощь пострадавшему в виде искусственного дыхания. Для оценки опасности поражения током принято использовать пороговые токи: осязаемый, неотпускающий и фибрилляционный. Пороговыми токами называют наименьшие значения соответствующих токов.

Пороговый осязаемый ток составляет в среднем 1 мА при $f = 50$ Гц и 6 мА при постоянном токе.

Пороговый неотпускающий ток составляет 10 мА при $f = 50$ Гц и 50 мА при постоянном токе. В последнем случае едва переносимая боль возникает в момент отрыва рук от электродов.

Пороговый фибрилляционный ток составляет примерно 100 мА при $f = 50$ Гц и 300 мА при постоянном токе. Верхний предел фибрилляционного тока составляет 5 А.

Продолжительность воздействия тока оказывает существенное влияние на исход поражения человека электрическим током. Чем дольше действие тока, тем больше вероятность тяжелого или даже смертельного исхода поражения.

Объясняется это тем, что с увеличением времени воздействия тока на живые ткани повышается его значение за счет уменьшения сопротивления тела человека и как следствие накапливаются последствия воздействия тока на организм.

Путь тока в теле человека оказывает существенное влияние на исход поражения. Наиболее тяжелые электротравмы возникают в случаях, когда на пути тока оказываются жизненно важные органы (мозг, сердце, легкие) или уязвимые зоны, особо чувствительные к электрическому току. Наиболее опасными путями протекания тока через тело человека являются: «голова – руки», «голова – ноги», «рука – рука», «рука – ноги». Наиболее уязвимые зоны расположены на внешней стороне кисти рук, на руках выше кисти, спине, шее, висках, плечах, передней части ног. Образование электрической цепи через уязвимые места при неблагоприятном стечении обстоятельств может привести к тяжелым исходам поражения при токах даже в несколько миллиампер.

Род и частота тока также в значительной степени определяют исход поражения. Наиболее опасными являются переменные токи с частотами в диапазоне 20 – 100 Гц. При частотах меньше 20 Гц или больше 100 Гц опасность поражения током снижается. Но при более высоких напряжениях

(от 500 В) постоянный ток становится опаснее переменного из-за более тяжелых форм ожогов.

Индивидуальные свойства человека также влияют на исход поражения электрическим током. Сам ток, согласно закону Ома, определяется сопротивлением тела человека и приложенным к нему напряжением, т.е. напряжением прикосновения.

Напряжением прикосновения называется напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения $U_{\text{пд}}$ и токов $I_{\text{пд}}$, протекающих через тело человека по пути «рука – рука» или «рука – ноги» при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, согласно ГОСТ 12.1.038 – 82 приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения $U_{\text{пд}}$ и токов $I_{\text{пд}}$

Род и частота тока	$U_{\text{пд}}$, В	$I_{\text{пд}}$, мА	Время действия
Переменный, 50 Гц	2	0,3	Не более 10 минут в сутки
Переменный, 400 Гц	3	0,4	
Постоянный	8	1,0	
Примечание – Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25 °С) и влажности (относительная влажность более 75 %), должны быть уменьшены в три раза.			

Установлено, что физически здоровые и крепкие люди легче переносят электрические удары, чем больные и слабые. Повышенной восприимчивостью к электрическому току обладают лица, страдающие рядом заболеваний, в первую очередь болезнями кожи, сердечно-сосудистой системы, органов внутренней секреции, лёгких, нервными болезнями. Отягощают электротравму алкогольные опьянения и болезненные состояния, приводящие к истощению нервной системы.

Условия внешней среды в некоторых случаях увеличивают опасность поражения током. Повышенные влажность и температура, пониженное атмосферное давление, уменьшенное содержание кислорода и увеличенное содержание углекислого и др. газов повышают чувствительность организма к воздействию электрического тока.

2.1.3 Первая помощь при поражении электрическим током

В первую очередь необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия электрического тока, т.е. отключить источник электричества с помощью ближайшего штепсельного разъема или выключателя (рубильника).

В случае отдаленности выключателя от места происшествия можно перерезать провода или перерубить их (каждый провод в отдельности) топором или другим режущим инструментом с сухой рукояткой из изолирующего материала.

При невозможности быстрого разрыва цепи необходимо оттянуть пострадавшего от провода или же отбросить сухой палкой оборвавшийся конец провода от пострадавшего.

Необходимо помнить, что пострадавший сам является проводником электрического тока. Поэтому при освобождении пострадавшего от тока оказывающему помощь необходимо принять меры предосторожности, чтобы самому не оказаться под напряжением: надеть галоши, резиновые перчатки или обернуть свои руки сухой тканью, подложить себе под ноги изолирующий предмет - сухую доску, резиновый коврик или, в крайнем случае, свернутую сухую одежду.

Оттягивать пострадавшего от провода следует за концы его одежды, к открытым частям тела прикасаться нельзя. При освобождении пострадавшего от тока рекомендуется действовать одной рукой.

Если он находится на стремянке, подставке или каком-либо ином приспособлении, надо принять меры, чтобы предотвратить ушибы или переломы при падении.

Если человек попал под действие напряжения выше 1000 В такие меры предосторожности недостаточны. Необходимо обратиться к специалистам, которые могут отключить напряжение.

Меры первой помощи зависят от состояния пострадавшего после освобождения от тока.

Для определения этого состояния необходимо:

- немедленно уложить пострадавшего на спину;
- расстегнуть стесняющую дыхание одежду;
- проверить по подъему грудной клетки, дышит ли он;
- проверить наличие пульса (на лучевой артерии у запястья или на сонной артерии на шее);
- проверить состояние зрачка (узкий или широкий), широкий неподвижный зрачок указывает на отсутствие кровообращения мозга;

Определение состояния пострадавшего должно быть проведено быстро, в течение 15 - 20 секунд.

1) Если пострадавший в сознании, но до того был в обмороке или продолжительное время находился под электрическим шоком, то ему необходимо обеспечить полный покой до прибытия врача и дальнейшее наблюдение в течение 2 - 3 часов.

2) В случае невозможности быстро вызвать врача необходимо срочно доставить пострадавшего в лечебное учреждение;

3) При тяжелом состоянии или отсутствии сознания нужно вызвать врача (Скорую помощь) на место происшествия.

4) Ни в коем случае нельзя позволять пострадавшему двигаться: отсутствие тяжелых симптомов после поражения не исключает возможности последующего ухудшения его состояния.

5) При отсутствии сознания, но сохранившемся дыхании, пострадавшего надо удобно уложить, создать приток свежего воздуха, давать нюхать нашатырный спирт, обрызгивать водой, растирать и согревать тело. Если пострадавший плохо дышит, очень редко, поверхностно или, наоборот, судорожно, как умирающий, надо делать искусственное дыхание.

6) При отсутствии признаков жизни (дыхания, сердцебиения, пульса) нельзя считать пострадавшего мертвым. Смерть в первые минуты после поражения - кажущаяся и обратима при оказании помощи. Пораженному угрожает наступление необратимой смерти в том случае, если ему немедленно не будет оказана помощь в виде искусственного дыхания с одновременным массажем сердца. Это мероприятие необходимо проводить непрерывно на месте происшествия до прибытия врача.

7) Переносить пострадавшего следует только в тех случаях, когда опасность продолжает угрожать пострадавшему или оказывающему помощь.

2.2 Экспериментальная часть

Указания по технике безопасности

1) Перед началом работы с приборами и стендами, обязательно ознакомление с инструкцией по эксплуатации;

2) Запрещается работать с неисправными приборами, макетами и проводниками;

3) Запрещается оставлять без надзора включенный стенд. Измерение проводить только в присутствии преподавателя;

4) В процессе измерения не следует прикасаться к соединительным проводам, клеммам и элементам, находящимся под напряжением 220 В, для исключения протекания тока через тело человека, работающего с прибором;

5) По окончании работы приборы и источники питания установок необходимо выключить, рабочее место привести в порядок.

Методика выполнения работы и обработка результатов

Подключите с помощью сетевого шнура устройство для исследования сопротивления тела человека (код 341) к трехпроводной электрической сети 220 В и включите на его лицевой панели выключатель «СЕТЬ».

Оперируя кнопками на поле «ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ» по индикатору выставьте желаемое напряжение U и его частоту F , например, 6,0 В и 15 кГц.

Приложите ладони рук порознь к двум электродам с площадью контактной поверхности $S=1250 \text{ мм}^2$. С верхнего индикатора зафиксируйте значение тока I_n , протекающего через тело человека.

Приложите ладони рук порознь к двум электродам с площадью контактной поверхности $S=2500 \text{ мм}^2$. С верхнего индикатора зафиксируйте значение тока I_n , протекающего через тело человека.

Провидите не менее трех измерений тока, протекающего через тело человека, при различных вариациях сочетания значений напряжения U и его частоты F для каждого члена группы.

Рассчитайте электрическое сопротивление тела человека $Z_n = \frac{U}{I_n}$ в обоих случаях и сделайте вывод о влиянии на него площади контактной поверхности.

Варьируя частоту F напряжения генератора снимите зависимость от нее тока (не менее пяти измерений), протекающего через тело человека, $I_n(f)$.

Рассчитайте зависимость электрического сопротивления тела человека

$$Z_n(f) = U / I_n(f).$$

По завершении эксперимента отключите питание устройства для исследования сопротивления тела человека (код 341).

По полученному значению сопротивления тела для каждого члена группы рассчитываются следующие индивидуальные показатели:

- Напряжения для постоянного и переменного ($f = 50\text{Гц}$) тока, при которых через тело будет протекать пороговый неотпускающий ток;
- Напряжения для постоянного и переменного ($f = 50\text{Гц}$) тока, при которых через тело будет протекать пороговый фибрилляционный ток.

Подготовьте отчет о проделанной работе.

Пример расчета индивидуальных напряжений, при которых через тело человека протекает пороговый неотпускающий ток и пороговый фибрилляционный ток

Дано: Сопротивление тела испытуемого, определенное в процессе эксперимента: 65 КОм .

Требуется: определить напряжения, при которых через тело человека будут протекать пороговый неотпускающий ток в случае постоянного и переменного тока; определить напряжения, при которых через тело человека будет протекать пороговый фибрилляционный ток в случае постоянного и переменного тока.

Решение: Значения пороговых токов берем из таблицы 1 теоретической части настоящего методического указания.

Используя закон Ома, находим напряжение для каждого из представленных токов:

Пороговое неотпускающее напряжение для случая постоянного тока:

$$U = I \cdot R ;$$

$$U_{\text{пост}} = 0,05 \cdot 65 \cdot 10^3 = 3250\text{В} ;$$

Для случая переменного тока: $U_{\text{пер}} = 0,01 \cdot 0,5 \cdot 10^3 = 650\text{В}$;

Пороговое фибрилляционное напряжение для случая постоянного тока:

$$U_{\text{пост}} = 0,3 \cdot 65 \cdot 10^3 = 19,5\text{кВ};$$

Для случая переменного тока: $U_{\text{пер}} = 0,1 \cdot 65 \cdot 10^3 = 6500\text{В}$.

Контрольные вопросы

- 1) Действие электрического тока на организм человека.
- 2) Причины смертельного исхода поражения электрическим током.
- 3) Перечислите факторы, влияющие на исход поражения током.
- 4) Чем отличается электрический удар от местных электротравм?
- 5) От каких факторов зависит сопротивление тела человека?
- 6) Каковы критические значения поражающих токов?
- 7) Что такое напряжение прикосновения?
- 8) Первая помощь при поражении электрическим током.

3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 «ЗАЩИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЗАНУЛЕНИЯ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ»

Цель работы: изучение мер защиты человека от поражения электрическим током в жилых и офисных помещениях с помощью защитного зануления и защитного заземления.

Оборудование:

Обозначение	Наименование	Тип ГалСен®	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Модель питающей электрической сети	387.1	~ 220 В / 50 ВА
A2	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1	~ 220 В
A3	Модель человека	309.1	~ 220 В / 1 кОм
A4	Модель электроприемника с двойной изоляцией	388.2	~ 220 В
A7	Модель участка электрической сети	303.1	~ 220 В / 0,5 А
A8	Модель заземлителя	390	~ 220 В / 2, 10, 100, 10000 Ом
A11	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	~ 220 В / 0,5 А
P1	Блок мультиметров	509.2	2 мультиметра 0.1000 В ~; 0.10 А 0.20 МОм

План работы:

- изучение теоретической части;
- ознакомление с принципами действия защитного зануления и защитного заземления;
- выполнение экспериментальной части;
- оформление полученных результатов, составление отчета;
- защита отчета преподавателю.

3.1 Теоретическая часть

3.1.1 Защитное заземление и зануление

Рабочее заземление. Рабочее заземление применяется для ограничения значения потенциала токоведущих частей установки относительно земли и для обеспечения правильного действия защиты в электросистеме. В сетях напряжением до 1000 В, питаемых через трансформаторы от сетей напряжением более 1000 В, нейтраль или одна из фаз обмотки НН должна быть

присоединена к заземлителю наглухо. При пробое между обмотками высшего и низшего напряжения заземление нейтрали или фазы ограничивает потенциал относительно земли сети низшего напряжения. В этих установках заземление нейтрали или фазы частично выполняет защитные функции.

Защитное заземление. В условиях промышленных предприятий напряжение прикосновения может возникнуть не только между корпусом поврежденного электроприемника и землей, но и между корпусами электроприемников, между корпусом электроприемника и металлическими конструкциями здания, между станиной станка и металлическими трубопроводами и т.п. Сеть заземления в цехе промышленного предприятия должна электрически связывать между собой металлические части электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением при пробое изоляции, и присоединить их к металлическим частям технологического оборудования и здания с целью уравнивать потенциалы тех и других, если при порче изоляции какого-либо электроприемника такие разности потенциалов появятся. Поскольку в цех всегда может быть заведен также и нулевой потенциал земли, металлические части электрооборудования, которые могут при пробое изоляции оказаться под напряжением, металлические части технологического оборудования и здания должны быть также заземлены, т.е. присоединены к заземлителю.

Защитное заземление не требуется в установках при номинальных напряжениях 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока и менее.

К частям, подлежащим заземлению в тех случаях, когда оно требуется, относятся:

- корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т.п.;
- приводы электрических аппаратов;
- вторичные обмотки измерительных трансформаторов;
- каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов;
- металлические конструкции распределительных устройств;
- металлические кабельные конструкции;
- металлические корпуса кабельных муфт;
- оболочки и броня контрольных и силовых кабелей;
- металлические оболочки проводов, а также металлические трубы электропроводки, лотки, короба, тросы и металлические полосы, на которых укреплены кабели и провода (кроме тросов и полос, по которым проложены кабели с заземленными или зануленными оболочками);
- другие металлические конструкции, связанные с установкой электрооборудования, и металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников.

Металлические оболочки и броня кабелей должны быть заземлены или занулены в начале и конце трассы. Должны быть заземлены или занулены

также и металлические оболочки и броня кабелей и проводов напряжением 42 В переменного и 110 В постоянного тока и менее, если они проложены на общих металлических конструкциях, в том числе в трубах, коробах, лотках и т.п., вместе с кабелями и проводами, металлические оболочки и броня которых подлежат заземлению или занулению.

Оборудование, установленное на заземленных металлических конструкциях, в том числе съемные или открывающиеся части на металлических заземленных каркасах и камерах распределительных устройств, ограждений, шкафов (например, двери и т.п.), может не заземляться (зануляться) отдельным проводником, если на опорных поверхностях предусмотрены незакрашенные и зачищенные места, достаточные для обеспечения электрического контакта.

Допускается при заземлении отдельных электродвигателей, аппаратов и т.п. на станках непосредственно не заземлять металлические станины станков при условии обеспечения надежного контакта между корпусами электрооборудования и станиной.

Согласно ПУЭ сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генераторов или трансформаторов или выводы источника постоянного тока, в любое время года должны 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.

Принцип действия защитного заземления

Корпус электродвигателя или трансформатора, арматура электрического светильника или трубы электропроводки нормально не находятся под напряжением относительно земли благодаря изоляции от токоведущих частей. Однако в случае повреждения изоляции любая из этих металлических частей может оказаться под напряжением, нередко равным фазному. Электродвигатель с пробитой на корпус изоляцией часто электрически соединен с машиной, которую он приводит в движение, - например, установлен на станке. Таким образом, рабочий, взявшись за рукоятки управления станком, может нечаянно попасть под напряжение. Чтобы уменьшить опасность поражения людей при повреждениях изоляции токоведущих частей, применяют ряд мер, среди которых наиболее распространено защитное заземление металлических частей электроустановок, обычно не находящихся под напряжением, и их зануление.

Защитное заземление состоит в том, что заземляемые металлические части соединяют электрическим проводником с заземлителем, то есть с металлическим предметом, находящимся в непосредственном соприкосновении с землей или с группой таких предметов. Чаще всего - это стержни из угловой стали, забитые в землю вертикально и соединенные между собой под землей приваренной к ним стальной полосой. Благодаря защитному заземлению напряжение, под которое может попасть человек, прикоснувшись к заземленной части, значительно снижается. Однако неверно распространенное мнение, что это напряжение равно нулю, так как все, что электрически связано

с землей, должно иметь потенциал земли, то есть нуль. Дело в том, что землю можно рассматривать как электрический проводник с некоторым сопротивлением электрическому току, с падением напряжения вдоль пути тока, то есть с различным потенциалом точек земли около заземлителя и на большом расстоянии от него, где потенциал действительно можно считать нулевым.

Если представить себе заземлитель полусферы (рисунок 3.1), то ток в земле растекается во все стороны от этого заземлителя в радиальных направлениях. Сечение «земляного проводника» определяется поверхностью полусфер того или иного радиуса и по мере увеличения радиуса возрастает. Соответственно уменьшается сопротивление грунта растеканию тока. Как показывают опыты, падение напряжения на участке однородного грунта радиусом в 1 м от поверхности заземлителя составляет около 68% от всего напряжения на заземлителе, то есть от напряжения между заземлителем и точками нулевого потенциала, которые располагаются на расстоянии около 20 м от такого заземлителя. Приблизительно так же, как на рисунке 3.1, выглядит эта кривая при другой конструкции сосредоточенного заземлителя.

На расстоянии более 20 м от одиночного сосредоточенного заземлителя падение напряжения в слоях земли от тока, растекающегося с заземлителя, уже практически не обнаруживается. Пространство вокруг заземлителя, где обнаруживается ток растекания, называется полем или зоной растекания. Сопротивление заземлителя относительно земли (то есть относительно точек грунта с нулевым потенциалом) включает в себя, кроме сопротивления растеканию тока в земле, также сопротивление току при прохождении по самим заземлителям и переходное сопротивление в электрическом контакте между металлическим заземлителем и ближайшими к нему слоями грунта.

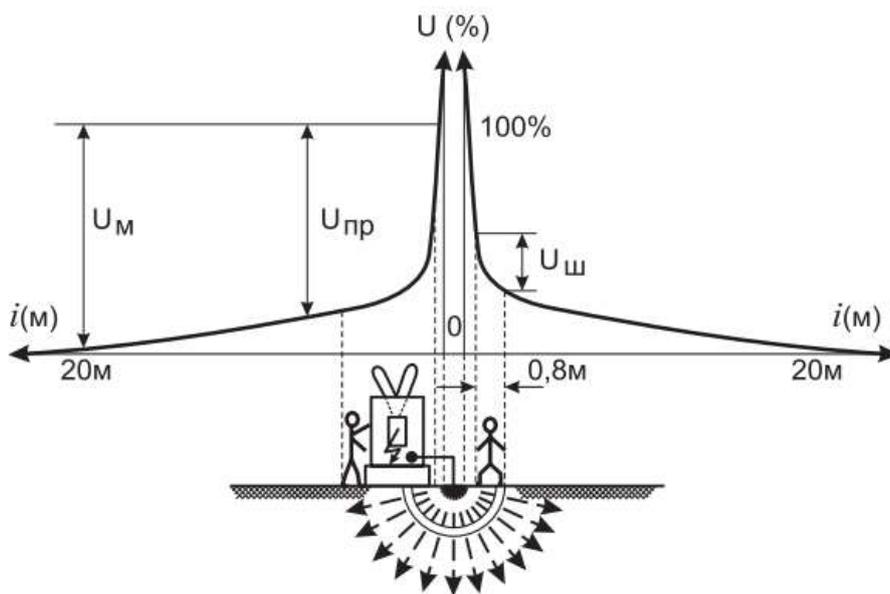


Рисунок 3.1 – Растекание тока в земле от сосредоточенного заземлителя и кривая изменения потенциала на поверхности земли по мере удаления от заземлителя

Последние две составляющие очень малы по сравнению с первой, даже если заземлители стальные и покрыты слоем ржавчины (но не краски). Поэтому под сопротивлением заземлителя относительно земли часто понимают его сопротивление растеканию, однако, точнее, сопротивление заземлителя - это отношение напряжения на нем (его потенциал) к току, который через него протекает при повреждении изоляции одной из фаз:

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3}$$

Напряжение на заземленном корпусе электрооборудования U_k отличается от напряжения заземлителя U_3 на величину падения напряжения в заземляющих проводниках, соединяющих корпус с заземлителем, но можно считать $U_3 \approx U_k$.

Хотя за пределами поля растекания ток в земле практически не обнаруживается, не следует считать, что в этом месте его нет. Для наличия электрического тока необходим замкнутый контур. Ток с провода, где повреждена изоляция, протекает через заземлитель и землю на провода других фаз в сети с незаземленной нейтралью через активное сопротивление их изоляции и через емкостные сопротивления этих проводов относительно земли. В сети с заземленной нейтралью ток от места замыкания течет главным образом к этой нейтрали, но не только по пути с наименьшим индуктивным сопротивлением (непосредственно под проводами линии), а и по другим путям, немного напоминающие силовые линии поля. На силу тока, протекающего через защитное заземление, влияет сопротивление всех элементов цепи этого тока, в том числе сопротивление заземлителя нейтрали.

Если человек, находясь на земле в потенциальном поле заземлителя, прикоснется к заземленному корпусу оборудования с поврежденной изоляцией, он окажется под действием разности потенциалов между корпусом и точкой поверхности земли, на которой он стоит (рисунок 3.1). Эту разность называют напряжением прикосновения $U_{пр}$. Оно в общем случае составляет лишь часть напряжения заземлителя или равного ему напряжения на корпусе U_k относительно точек земли с нулевым потенциалом:

$$U_{пр} = \alpha \cdot U_k = \alpha \cdot I_3 \cdot R_3,$$

где I_3 - ток, стекающий с заземлителя;

R_3 - сопротивление заземлителя;

α - коэффициент прикосновения (меньше единицы) который показывает, какую часть от напряжения на корпусе составляет напряжение прикосновения.

Величины α и $U_{пр}$ зависят от расстояния между ногами человека и заземлителем (чем дальше, тем больше) и от крутизны кривой спада потенциала, которая может быть более пологой при сложной конструкции

заземлителя (чем полнее, тем лучше условия безопасности). К телу человека приложена лишь часть напряжения прикосновения, потому что последовательно с сопротивлением тела включено электрическое сопротивление обуви, пола и сопротивление растеканию тока в земле от ног человека. Часто под напряжением прикосновения понимают именно падение напряжения в теле человека между точками с разным потенциалом, которых он одновременно касается рукой и ногами или двумя руками.

Между ступнями человека, идущего в потенциальном поле заземлителя, действует разность потенциалов, называемая шаговым напряжением $U_{ш}$. Как видно из рисунка, оно тем больше, чем ближе человек к заземлителю и чем шире шаг. При расчетах принимают, что шаг человека равен 0,8 м. Для крупных животных расстояние между передними и задними ногами больше, отчего напряжение шага, действующее на них, выше; оно опаснее, чем для людей, еще и потому, что вызванный им ток проходит у животных через грудную клетку. Поэтому, например, корова может погибнуть при значительно меньшем напряжении на заземлителе, к которому она приближается (или на большем расстоянии от упавшего на землю провода), хотя для крупных животных значение смертельных токов намного больше, чем для людей. Установлено, что при одиночном вертикальном стержневом заземлителе ток через него в 3,5 А уже может создать смертельное для животных шаговое напряжение.

На рисунке 3.2 показана сеть без заземленной точки с сопротивлением изоляции проводов относительно земли r_1 и r_2 . После пробоя изоляции одного из проводов на металлический корпус, который связан с защитным заземлением, обладающим сопротивлением растеканию тока в земле r_3 , этот корпус будет иметь относительно участков земли с нулевым потенциалом напряжение, равное падению напряжения на r_3 от тока через него.

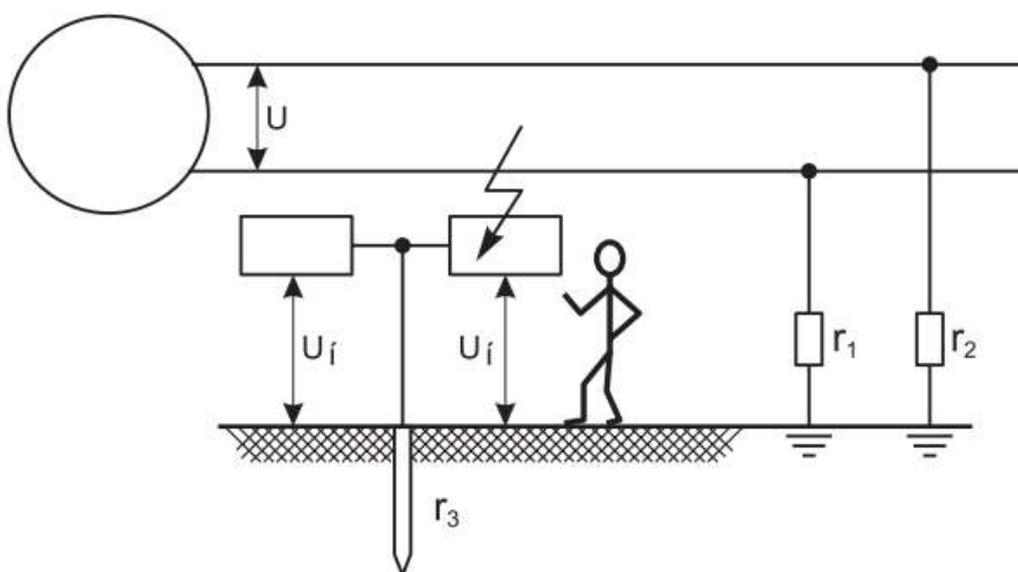


Рисунок 3.2 – Защитное заземление в однофазной сети без заземленной точки

Так как сопротивление изоляции проводов относительно земли значительно больше сопротивления растеканию тока в земле, ток через заземлитель практически не зависит от сопротивления заземлителя. Поэтому с уменьшением сопротивления заземлителя пропорционально уменьшается напряжение прикосновения. Уменьшается и опасность от прикосновения. Однако такое же напряжение появится на корпусах и неповрежденного оборудования, присоединенных к тому же защитному заземлению. Это один из недостатков заземления как защитного мероприятия.

Принцип действия защитного зануления

В установках напряжением 380/220 В с заземленной нейтралью непосредственное защитное заземление корпусов оборудования нередко могло бы оказаться недостаточно эффективным, потому что заземлений в таких сетях понадобилось бы много и экономически невозможно было бы сооружать их все с очень маленьким сопротивлением заземлителей. При пробое изоляции сопротивление двух последовательно включенных сопротивлений (заземления нейтрали R_0 и защитного заземления корпуса поврежденного токоприемника R_3) могло быть таким, что ток однофазного замыкания на корпус был бы слишком мал, чтобы вызвать срабатывание плавкого предохранителя, защищающего поврежденный токоприемник. Например, при сопротивлении обоих заземлителей по 4 Ом, даже если пренебречь сопротивлением фазного провода от источника питания до места повреждения изоляции, ток:

$$I_{\text{э}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_0 + R_3} = \frac{220}{4 + 4} = 27,5 \text{ А},$$

поэтому в сетях напряжением 380/220 В, где нейтраль обмотки питающего трансформатора или генератора наглухо заземляется, вместо защитного заземления корпусов токоприемников путем непосредственной связи с расположенным поблизости заземлителем применяют особую разновидность заземления, которая по сути дела является самостоятельным защитным мероприятием и называется занулением. Это металлическое присоединение корпусов электрооборудования к нулевой точке (заземленной нейтрали) трансформатора или генератора. Обычно проводники, зануляющие отдельные токоприемники, связывают их не непосредственно с нулевой точкой, а с рабочим нулевым проводом.

При пробое изоляции в зануленном оборудовании возникает цепь тока однофазного короткого замыкания со сравнительно небольшим сопротивлением, состоящим из сопротивлений фазного и нулевого проводов. Появляется ток короткого замыкания, значительно больший, чем ток однофазного замыкания на землю, где применяется просто защитное заземление. Поэтому быстро срабатывает плавкий предохранитель или автоматический выключатель, защищающий поврежденное оборудование или

участок сети. Именно быстрое и полное снятие напряжения с поврежденного оборудования является основой защитного действия зануления - в отличие от защитного заземления, когда напряжение на заземленных частях при повреждении изоляции понижается, но может длительно сохраняться.

В случае обрыва нулевого провода все оборудование за точкой обрыва оказалось бы не только совершенно лишенным защиты, но и поставленным даже в более плохие условия, чем при полном ее отсутствии, потому что при повреждении изоляции любого аппарата или электродвигателя, присоединенному к нулевому проводу за точкой обрыва, появилось бы напряжение, часто равное фазному, и на его корпусе, и на всех других зануленных корпусах. Чтобы избежать этого, во-первых, стремятся предотвратить обрывы нулевого провода. Во-вторых, чтобы уменьшить напряжение при замыкании на корпус электрооборудования, связанного с нулевым проводом, если он все же оборвется, необходимо делать повторные заземления нулевого провода.

Повторные заземления нулевого провода полезны и при целом нулевом проводе, так как они снижают напряжение на корпусе поврежденного оборудования до момента срабатывания предохранителя или в случае, если он все же не сработает из-за неправильного выбора плавкой вставки или при недостаточно большой силе тока короткого замыкания, когда замыкание на корпус произошло через большое переходное сопротивление остатков изоляции.

Если у нулевого провода сечение в два раза меньше, а сопротивление в два раза выше, чем у фазного, то без повторного заземления при замыкании на корпус в зануленном токоприемнике на нулевом проводе возникает падение напряжения приблизительно в $2/3$ фазного напряжения, то есть 147 В. Оно и будет на корпусе относительно земли. Если же вблизи поврежденного оборудования находится одно повторное заземление, то параллельный нулевому проводу путь тока через землю снизит результирующее сопротивление цепи тока от корпуса до нулевой точки трансформатора. Понизится и падение напряжения $U_{к.0}$ на этом пути. Еще больше понизится напряжение U_k на корпусе токоприемника относительно земли, которое будет составлять лишь часть от $U_{к.0}$:

$$U_k = \frac{U_{к.0} \cdot R_n}{R_0 + R_n},$$

где, R_0 - сопротивление заземления нейтрали;

R_n - сопротивление повторного заземлителя. При $R_0 = R_n$; $U_k = 0,5 \cdot U_{к.0}$

При двух или большем количестве повторных заземлений на данной линии напряжение на корпусе снижается еще больше.

В установках до 1000 В с заземленной нейтралью запрещается применять защитное заземление корпуса без металлической связи с нулевой точкой источника. Но если заземлители данного корпуса и нулевой точки

металлически связаны между собой, можно не иметь специального зануляющего проводника.

Запрещается применять землю в качестве рабочего нулевого провода в установках напряжением 380/220 В или 220/127 В (с заземленной нейтралью) и в качестве фазного провода в установках напряжением до 1000 В с незаземленной нейтралью.

Если в жилой комнате или общественном помещении есть радиаторы центрального отопления или проходят металлические водогазопроводные трубы, опасно пользоваться вблизи них настольной лампой с металлическим незаземленным корпусом или утюгом и другими переносными электроприборами без зануления, так как возможность одновременного соприкосновения с корпусами электрооборудования и заземленными трубопроводами создает повышенную опасность поражения электротоком. Допускается использовать переносные электроприемники без заземления (зануления) только в случае, если металлические трубопроводы недоступны для прикосновения, - например, если радиаторы ограждены деревянными решетками.

В установках напряжением 36 В (42 В) и ниже переменного тока или 110 В и ниже постоянного тока заземление или зануление не применяют вообще ни в каких помещениях или наружных установках, кроме взрывоопасных; не применяют их и для электросварки, где независимо от напряжения полагается заземлять зажим вторичной обмотки трансформатора, к которому присоединяется обратный провод от свариваемой детали.

Зануление

Общие требования. Зануление применяется с целью отключить при пробое на корпус поврежденный электроприемник в возможно короткий срок и тем самым ограничить до возможного минимума время, в течение которого поврежденный объект будет представлять опасность для персонала. При занулении отключение поврежденного электроприемника производится под действием тока замыкания на корпус в линии, питающей поврежденный электроприемник.

Для быстрого и надежного срабатывания защиты максимального тока кратность тока замыкания на корпус по отношению к току уставки защиты должна быть как можно больше.

ПУЭ требует (пункт 1.7.79): чтобы ток однофазного замыкания на корпус - превосходил - не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя;

- не менее чем в три раза ток уставки расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику;

- не менее чем в $1,1 K_p$ раза ток мгновенного срабатывания автомата, имеющего только расцепитель без выдержки времени, где K_p - коэффициент, учитывающий разброс токов срабатывания (по заводским данным). При

отсутствии заводских данных о величине разброса кратность тока короткого замыкания относительно величины уставки следует принимать 1,4;

- для автоматов до 100 А и 1,25 для автоматов с номинальным током более 100 А.

Во взрывоопасных установках (ПУЭ, пункт 7.3.139) указанные выше кратности тока однофазного замыкания на корпус должны быть повышены до 4 в цепи, защищенной плавким предохранителем; до шести в цепи, защищенной автоматическим выключателем с обратно зависимой от тока характеристикой. В цепях, защищенных автоматическим выключателем, имеющим только электромагнитный (мгновенный) расцепитель, кратность тока однофазного замыкания на корпус определяется как для невзрывоопасных установок.

Нулевые защитные проводники. В качестве нулевых защитных проводников могут служить:

- отдельные (в том числе нулевые) жилы многожильных проводов и кабелей;

- специально проложенные проводники;

- элементы металлических конструкций зданий, стальные трубы электропроводок, металлические конструкции производственного назначения, трубопроводы всех назначений (кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных смесей) проложенные открыто;

- алюминиевые оболочки кабелей.

Заземляющие и нулевые защитные проводники должны быть защищены от коррозии. Места соединения стыков после сварки должны быть окрашены. В сухих помещениях для этого следует применять асфальтовый лак, масляные краски или нитроэмали. В сырых помещениях и помещениях с едкими парами окраска должна быть выполнена красками, стойкими в отношении химических воздействий (например поливинилхлоридными эмалями).

Запрещается использовать металлические оболочки трубчатых проводов, несущие тросы при тросовой электропроводке, металлические оболочки изоляционных трубок, металлорукава, броню и свинцовую оболочку проводов и кабелей в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников.

При использовании алюминиевых оболочек кабелей в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников присоединение их к корпусам электрооборудования, к соединительным или концевым кабельным муфтам должно выполняться гибкими медными перемычками сечением не менее приведенных в таблице 3.1.

В электроустановках напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью нулевые защитные проводники с целью уменьшения индуктивного сопротивления цепи фаза-ноль следует прокладывать совместно с фазными или в непосредственной близости к ним.

Ответвления от магистрали к электроприемникам до 1 кВ допускается прокладывать скрыто непосредственно в стене, под чистым полом и т.п. с

защитой их от воздействия агрессивных сред. Такие ответвления не должны иметь соединений.

Таблица 3.1 - Сечение гибких медных перемычек

Сечение жил кабеля, мм ²	Сечение перемычек, мм ²
До 10	6
16—35	10
50—120	16
150 и выше	25

Прокладка заземляющих и нулевых защитных проводников через стены должна выполняться в открытых проемах, в неметаллических трубах или иных жестких обрамлениях.

В помещениях сухих, без агрессивной среды, заземляющие и нулевые защитные проводники допускается прокладывать непосредственно по стенам. Во влажных, сырых и особо сырых помещениях и в помещениях с агрессивной средой заземление и нулевые защитные проводники следует прокладывать на расстоянии от стен не менее чем 10 мм. Расстояние между опорами для крепления заземляющих и нулевых защитных проводников должны быть не более 1000 мм. В наружных установках заземляющие и нулевые защитные проводники допускается прокладывать в земле, в полу или по краю площадок, фундаментов технологических установок и т.п.

Использование неизолированных алюминиевых проводников для прокладки в земле в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников запрещается. Каждая часть электроустановки, подлежащая заземлению или занулению, должна быть присоединена к сети заземления или зануления при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение в заземляющий или нулевой защитный проводник заземляемых или зануляемых частей электроустановки не допускается.

Заземлители надлежит соединять с магистралями заземления не менее чем двумя проводниками, присоединенными к заземлителю в разных местах. Это требование не относится к повторному заземлению нулевого провода и металлических оболочек кабелей.

Соединение частей заземлителя между собой, а также заземлителя с заземляющими проводниками следует выполнять сваркой; при этом длина нахлеста должна быть равна ширине проводника при прямоугольном сечении и шести диаметрам при круглом сечении. При Т-образном соединении внахлестку двух полос длина нахлестки определяется шириной полосы.

Использование специально проложенных заземляющих или нулевых защитных проводников для каких-либо целей не допускается.

Открыто проложенные заземляющие и нулевые защитные проводники должны иметь отличительную окраску: желтые полосы по зеленому фону. При использовании строительных или технологических конструкций в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников на перемычках между ними, а также в местах присоединений и ответвлений проводников должны быть нанесены две полосы желтого цвета по зеленому фону на расстоянии 150 мм одна от другой.

Присоединение заземляющих и нулевых защитных проводников к частям оборудования, подлежащим заземлению или занулению, должно быть выполнено сваркой или болтовым соединением. Присоединение должно быть доступно для осмотра.

Для болтового соединения следует предусматривать меры против ослабления контактного соединения (контрогайки, разрезные пружинные шайбы и т.п.) и коррозии (смазка тонким слоем вазелина зачищенных до металлического блеска контактных поверхностей и т.п.).

Сопротивление нулевых защитных проводников оказывает решающее влияние на общее сопротивление цепи зануления и, следовательно, на величину тока замыкания на корпус. Из перечисленных выше нулевых защитных проводников аналитическому расчету поддается только сопротивление жил проводов и кабелей.

Нулевые рабочие проводники. Для питания электроприемников с однофазной или неравномерной трехфазной нагрузкой должен быть проложен рабочий нулевой провод, по которому протекает геометрическая сумма фазных токов. Нулевой рабочий провод присоединяется к нейтрали генератора или вторичной обмотке трансформатора, и он может быть использован для зануления корпуса приемника. По рабочему нулевому проводу длительно протекает рабочий ток, создающий в нем падение напряжения, и поэтому он должен быть изолирован на всей длине, когда используется для зануления (как защитный). Если нулевой рабочий провод используется как защитный, на него распространяются требования, относящиеся к нулевым защитным проводникам.

Нулевые рабочие проводники должны быть рассчитаны на длительное протекание рабочего тока.

Рекомендуется в качестве нулевых рабочих проводников применять проводники с изоляцией, равноценной изоляции фазных проводников. Такая изоляция обязательна как для нулевых рабочих, так и для нулевых защитных проводников в тех местах, где применение неизолированных проводников может привести к образованию электрических пар или к повреждению изоляции фазных проводников в результате искрения между неизолированным нулевым проводником и оболочкой или конструкцией (например, при прокладке проводов в трубах, коробах, лотках).

Не допускается использовать в качестве нулевых защитных проводников нулевые рабочие проводники, идущие к переносным электроприемникам

однофазного и постоянного тока. Для зануления переносных электроприемников должен быть применен отдельный третий провод, присоединенный во втычном соединителе (разъеме) к нулевому рабочему или нулевому защитному проводнику.

Зануление светильников. Зануление светильников требует особого внимания, поскольку токоведущие части светильника легкодоступны, особенно при смене ламп, и количество светильников в промышленных предприятиях велико. В сетях 220/380 В с глухозаземленной нейтралью светильники, как правило, включены между фазой и нулевым рабочим проводом. В осветительных установках рабочий нулевой провод используется и для зануления, что дает существенную экономию проводов. При обрыве нулевого провода (объединяющего функции рабочего и защитного) корпуса всех светильников окажутся под фазным напряжением относительно земли, что представляет значительную опасность. С целью уменьшить эту опасность на участке, где повреждения наиболее вероятны - от магистрали до светильника, прокладываются раздельно три провода - фазный, нулевой рабочий и нулевой защитный.

Если светильник установлен неподвижно, то к нему разрешается подводить два провода - фазный и нулевой. Последний в этом случае выполняет функции как рабочего, так и защитного.

Выравнивание потенциалов. Прикосновение одновременно к двум точкам, имеющим одинаковые потенциалы, при напряжении до 1000 В для человека безопасно. В тех случаях, когда почему-либо не удастся понизить возможные потенциалы частей установки относительно земли или относительно друг друга, прибегают к искусственному выравниванию потенциалов внутри установки. На границах установки необходимо обеспечить плавный переход от потенциала установки к нулевому потенциалу земли, чтобы напряжение шага не превысило безопасной величины.

В пределах установки выравнивание потенциалов достигается металлическим соединением всех электропроводных элементов установки между собой (колонн, конструкций, корпусов электрооборудования, оболочек и брони кабеля, трубопроводов). Потенциал земли (пола) выравнивается путем закладки в землю (в полу) полос или пластин.

В цехах промышленных предприятий, связанных через общие заземлители с электроустановками с большими токами замыкания на землю, выравнивание потенциалов достигается путем устройства электрических соединений между колоннами, фермами, рельсами, станинами станков, трубопроводами (за исключением содержащих горючие газы или жидкости), арматурой полов и корпусами электрооборудования.

Поскольку наибольшее напряжение прикосновения и шаговое напряжение обычно наблюдается у выхода из здания и у наружных стен, здесь должны быть приняты дополнительные меры защиты. У выходов из здания должны быть заложены выравнивающие контуры, состоящие из двух полос, на

расстоянии 1 и 2 м от стен здания, на глубине 1 и 1,5 м соответственно. Аналогичные меры для выравнивания потенциала должны быть приняты и по периметру здания, если измерения покажут наличие опасных разностей потенциалов.

3.2 Методика выполнения работы и обработка результатов

Указания по технике безопасности

- 1) Перед началом работы с приборами и стендами, обязательно ознакомление с инструкцией по эксплуатации;
- 2) Запрещается работать с неисправными приборами, макетами и проводниками;
- 3) Запрещается оставлять без надзора включенный стенд. Измерение проводить только в присутствии преподавателя;
- 4) В процессе измерения не следует прикасаться к соединительным проводам, клеммам и элементам, находящимся под напряжением 220 В, для исключения протекания тока через тело человека, работающего с прибором;
- 5) По окончании работы приборы и источники питания установок необходимо выключить, рабочее место привести в порядок.

3.2.1 Действие защитного зануления

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 3.3.

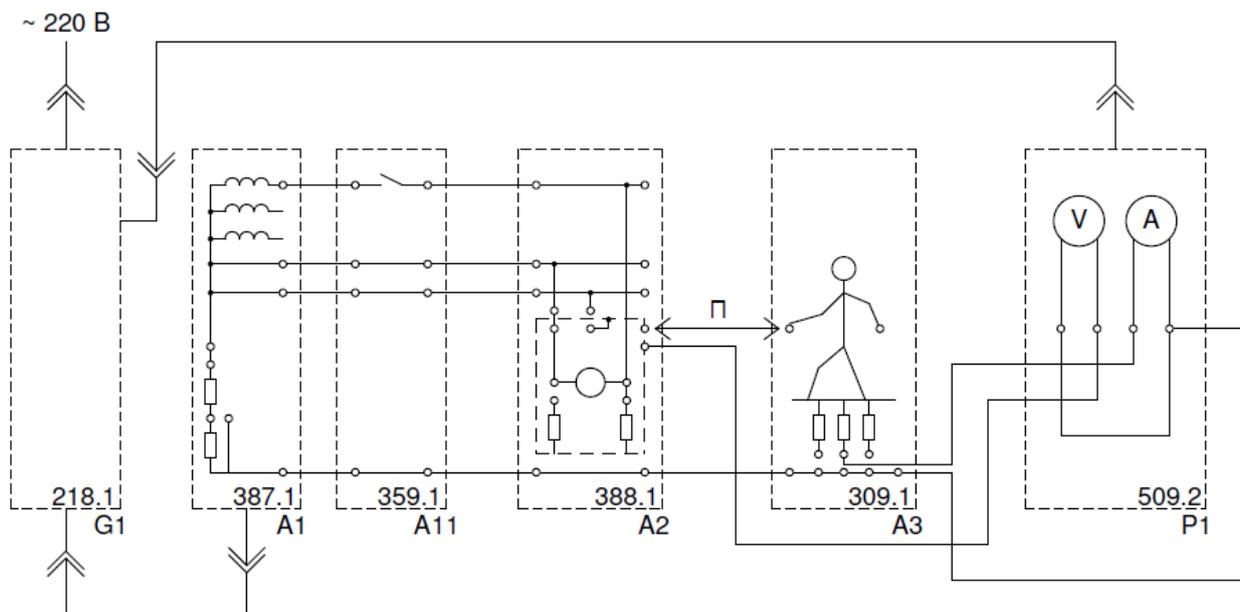


Рисунок 3.3 – Схема для выявления действия защитного зануления без зануления электроприемника

Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели А1 питающей электрической сети.

Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.

Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.

Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели А1.

Включите автоматический выключатель А11. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника А2.

Смоделируйте косвенное прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, соединением перемычки «П», как это показано на рисунке 3.3.

С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения.

Отключите автоматический выключатель А11.

Удалите перемычку «П».

Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на рисунке 3.4.

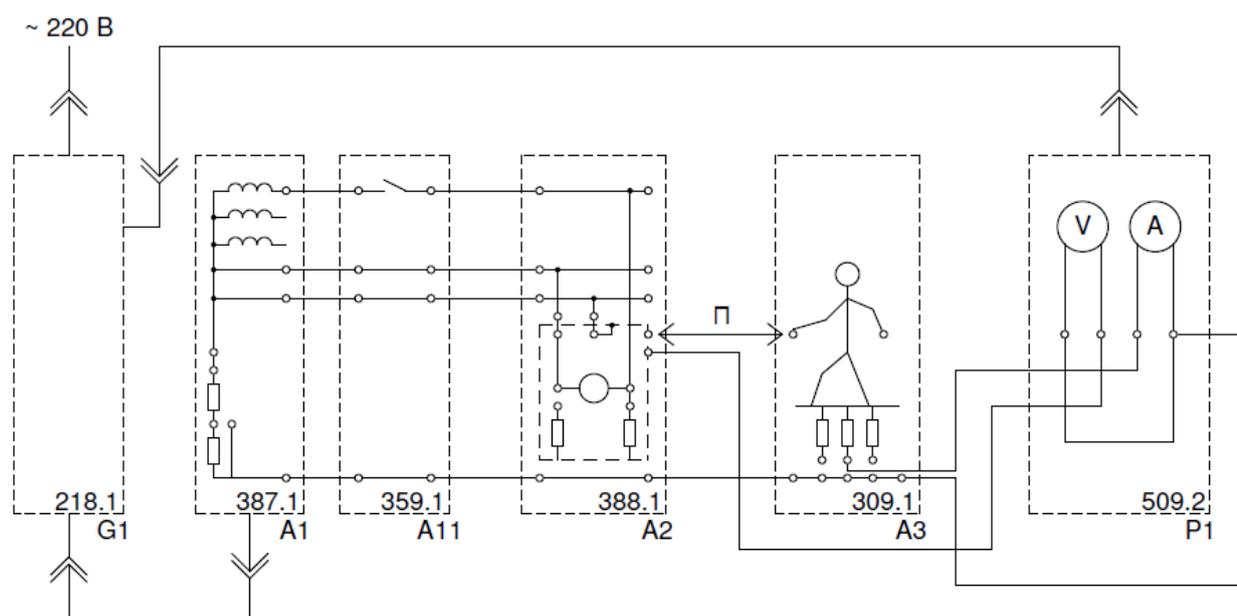


Рисунок 3.4 – Схема для выявления действия защитного зануления с занулением электроприемника

Включите автоматический выключатель А11.

Смоделируйте косвенное прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, подключением перемычки «П», как это показано на рисунке 3.4.

С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения.

По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели A11 и однофазного источника питания G1, выключатели «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети и «СЕТЬ» блока мультиметров P1.

Сопоставьте измеренные значения токов и напряжений и сделайте вывод о наличии или отсутствии защитного действия зануления.

Вид обуви человека и тип пола, на котором он стоит, можно варьировать, проводя эксперименты с другими сопротивлениями стеканию тока с ног человека в землю.

3.2.2 Действие защитного заземления

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 3.5.

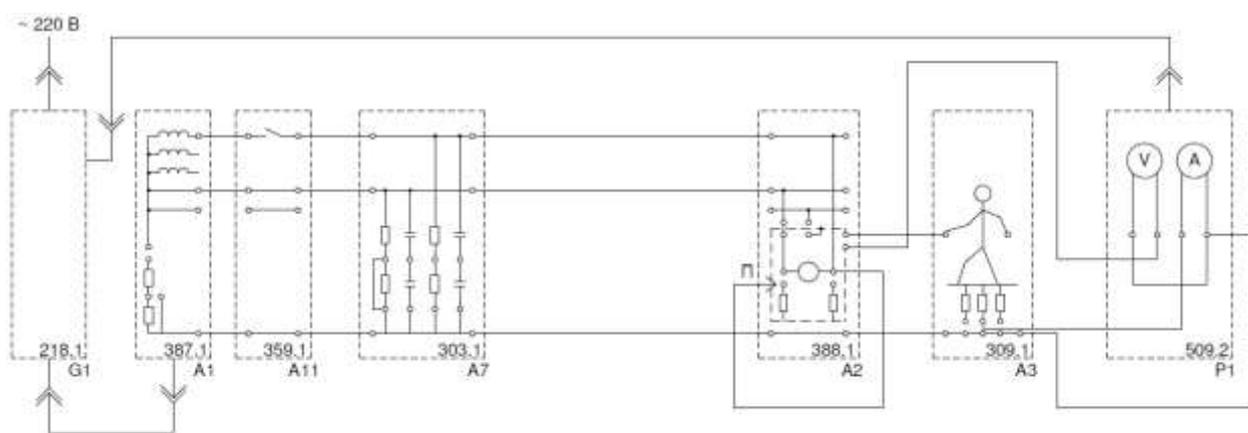


Рисунок 3.5 – Схема для выявления действия защитного заземления (без защитного заземления)

Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети.

Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.

Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.

Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1.

Включите автоматический выключатель A11. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника A4.

Смоделируйте повреждение изоляции электроприемника A2 соединением конца проводника «П» с гнездом, как это показано на рисунке 3.5.

С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения.

Отключите автоматические выключатели A11 и однофазного источника питания G1, выключатели «СЕТЬ» модели A1 питающей электрической сети и блока мультиметров P1.

Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на рисунке 3.6.

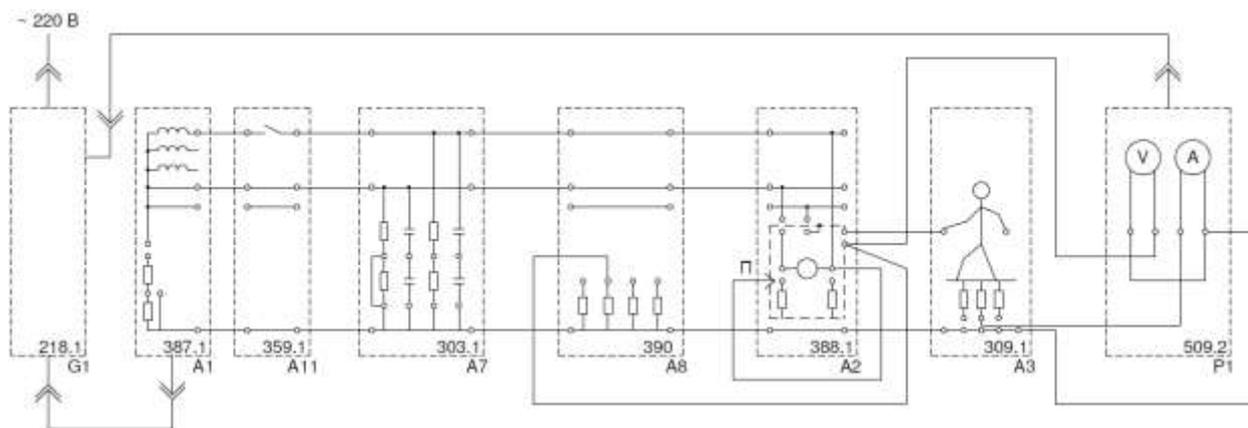


Рисунок 3.6 – Схема для выявления действия защитного заземления (с защитным заземлением)

Включите автоматические выключатели в однофазном источнике питания G1.

Включите автоматический выключатель A11. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника A4.

Смоделируйте повреждение изоляции электроприемника A2 соединением конца проводника «П» с его гнездом, как это показано на рисунке 3.6.

С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения.

По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели A11 и однофазного источника питания G1, а также - выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети.

Сопоставьте измеренные токи через тело человека и убедитесь в действии защитного заземления.

Вид обуви человека и тип пола, на котором он стоит, можно варьировать, проводя эксперименты с другими сопротивлениями стеканию тока с ног человека в землю. Также можно варьировать и сопротивление заземлителя A8.

Контрольные вопросы

- 1) Рабочее заземление.
- 2) Защитное заземление.
- 3) Принцип действия защитного заземления.
- 4) Принцип действия защитного зануления.
- 5) Нулевые рабочие проводники.
- 6) Зануление светильников.
- 7) Выравнивание потенциалов.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1) Фролов А.В., Бакаева Т.Н. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: Учебное пособие для вузов. _ Ростов-наДону: Феникс, 2005. – 726 с. (29 экз.)

2) Кукин П.П. [и др.] Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2004. – 317 с. (51 экз.)

3) Раздорожный А.А. Безопасность производственной деятельности: Учебное пособие. – М.:Инфра-М,2003. – 207. (1 экз)

4) Хван Т.А., Хван А.П. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие для вузов. – Ростов н/Д Феникс, 2012. – 444 с. (5 экз.)

5) Семехин Ю.Г. Управление безопасностью жизнедеятельности: учебное пособие для вузов. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 218 с. (1 экз.).