

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

К. Я. Аубакиров, А. В. Макеев

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия для обучающихся по направлению подготовки
20.03.01 Техносферная безопасность (уровень бакалавриата)

Новосибирск
СГУГиТ
2017

УДК 537.31:68.9

A93

Рецензенты: доктор технических наук, профессор, НГТУ *В. П. Разинкин*

кандидат технических наук, доцент СГУГиТ *В. С. Корнеев*

Аубакиров, К. Я.

A93 Электробезопасность [Текст] : учеб. пособие / К. Я. Аубакиров, А. В. Макеев. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 120 с.

ISBN 978-5-906948-84-7

Учебное пособие подготовлено кандидатом технических наук, доцентом К. Я. Аубакировым, а также аспирантом А. В. Макеевым на кафедре специальных устройств и технологий СГУГиТ.

На основе анализа условий поражения электрическим током в электроустановках рассматривается эффективность таких защитных мер, как заземление, зануление, автоматическое отключение, выравнивание потенциала и др.

Представлена система оказания первой медицинской помощи пострадавшим от электрического тока, классификация способов и средств электрозащиты.

Учебное пособие по дисциплине «Электробезопасность» предназначено для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность (уровень бакалавриата).

Рекомендовано к изданию кафедрой специальных устройств и технологий, Ученым советом Института оптики и оптических технологий СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 537.31:68.9

ISBN 978-5-906948-84-7

© СГУГиТ, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
1. Токи поражения.....	7
1.1. Виды поражений электрическим током	7
1.2. Критерии электробезопасности	13
2. Система электробезопасности	21
2.1. Факторы, определяющие вероятность поражения человека электрическим током	21
2.2. Электрозащитные меры	23
3. Типы систем заземления электрических сетей.....	28
3.1. Маркировка и условное обозначение характеристик элек- тротехнических устройств.....	30
3.2. Системы заземления <i>TN-C</i> , <i>TN-S</i> , <i>TN-C-S</i>	31
3.3. Системы заземления <i>IT</i> , <i>TT</i>	36
4. Анализ опасности различных вариантов включения человека в электрическую цепь.....	40
4.1. Двухполюсное прикосновение к фазным проводникам в <i>IT</i> -сети.....	43
4.2. Однополюсное прикосновение к фазному проводнику <i>IT</i> -сети в нормальном и аварийном режиме.....	44
4.3. Однополюсное прикосновение в однофазной сети <i>TN-C</i>	45
4.4. Прикосновение к заземленному проводнику в нормальном режиме сети <i>TN-C</i> и в аварийном режиме (при наличии ко- роткого замыкания).....	46
4.5. Однополюсное прикосновение к фазному проводнику <i>IT</i> -сети с активной и емкостной проводимостями.....	47
4.6. Однополюсное прикосновение человека к фазе <i>IT</i> -сети с большой емкостью относительно земли.....	48

4.7. Прикосновение человека к одной из фаз <i>IT</i> -сети в нормальном и аварийном (замыкание фазы на землю) режиме без учета емкости сети относительно земли	49
4.8. Однополюсное прикосновение человека к фазному проводнику сети <i>TN-C</i> в нормальном и аварийном режиме	51
5. Меры, обеспечивающие недоступность для человека токоведущих частей электрооборудования	52
5.1. Меры, позволяющие снизить ток через тело человека до безопасного значения	52
5.2. Защита с помощью системы безопасного сверхнизкого напряжения	54
5.3. Условия электробезопасности в <i>IT</i> -сетях	57
5.4. Защитное заземление	59
5.5. Стеkanie тока в землю с заземлителя в аварийной ситуации	61
5.6. Выравнивание и уравнивание потенциалов	67
6. Меры по ограничению длительности воздействия электрического тока на организм человека	70
6.1. Защитное зануление	70
6.2. Контроль изоляции, обнаружение повреждений	75
6.3. Защитное отключение	78
6.4. Принцип действия устройства защитного отключения	80
6.5. Основные нормируемые параметры устройства защитного отключения	83
6.6. Устройство защитного отключения как противопожарное средство	85
7. Обеспечение безопасности при эксплуатации электроустановок	87
7.1. Классификация помещений по степени опасности поражения людей электрическим током	87
7.2. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками	90
7.3. Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током	93

8. Защита зданий и сооружений любого назначения от перенапряжений	96
8.1. Зоны молниезащиты с точки зрения прямого и косвенного воздействия молнии	97
8.2. Устройства защиты от перенапряжений.....	100
8.3. Основные типы устройств защиты от перенапряжений	100
8.4. Трехступенчатая схема включения защитных устройств	103
8.5. Параметры защитных устройств	105
9. Приемы оказания первой помощи при электропоражении	108
9.1. Освобождение человека от действия электрического тока и диагностика.....	109
9.2. Базовая сердечно-легочная реанимация по принципу ABC	111
Заключение	117
Библиографический список.....	118

ВВЕДЕНИЕ

Широкое использование электроэнергии во всех областях деятельности человека, рост энерговооруженности труда, взрывное увеличение количества электроприборов в быту и на производстве влекут за собой повышение опасности поражения человека электрическим током. Электрический ток не имеет каких-либо физических признаков или свойств, по которым человек мог бы его ощущать органами чувств до момента контакта, что усугубляет его опасность. Этими же свойствами характеризуются электромагнитные и радиационные поля.

Техника безопасности в электроустановках (ЭУ) – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от опасного воздействия электрического тока, электрической дуги и других факторов.

Несоблюдение персоналом, эксплуатирующим ЭУ, правил безопасности может привести к поражению их и окружающих людей электрическим током, повреждению дорогостоящего технологического оборудования, тяжелым авариям.

Применяемые средства защиты предназначены для обеспечения недоступности токоведущих частей ЭУ, исключения возможности прикосновения к ним, устранения опасности поражения при замыкании сети на корпус электрооборудования или на землю, предотвращения ошибочных действий персонала в процессе работы (человеческий фактор).

Выбор способов и средств электрозащиты регламентирован стандартами системы безопасности труда (ГОСТ ССБТ) [1–6, 12] и новыми государственными стандартами, разработанными на основе комплекса стандартов Международной электротехнической комиссии (МЭК) [7–11, 13, 14, 17].

1. ТОКИ ПОРАЖЕНИЯ

1.1. Виды поражений электрическим током

В национальном стандарте ГОСТ Р 12.1.009–2009 [1] даны следующие определения наиболее важных понятий рассматриваемой темы:

- **электробезопасность** – «система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей и животных от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества»;

- **электротравматизм** – «явление, характеризующееся совокупностью электротравм»;

- **электроустановка (ЭУ)** – «энергоустановка, предназначенная для производства или преобразования, передачи, распределения или потребления электроэнергии»;

- **токоведущая часть** – «проводник или проводящая часть, включая нейтральный провод, предназначенные для пропускания тока при нормальной эксплуатации»;

- **электрическая дуга** – «электрический разряд в газовой среде между контактами, возникающий при размыкании электрического контакта или при нестабильности переходного сопротивления контактов (искрение)».

Следует отметить, что **электротравматизм** составляет значительную долю в общем числе несчастных случаев.

Специалистам, работающим в сфере электро-, радиотехники, энергетики, а также рядовым пользователям известно большое количество случаев гибели или тяжелого поражения людей от удара электрическим током или возгораний и пожаров, вызванных неисправностями электрооборудования и электропроводок.

Электротравма – «травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги, а также электромагнитного поля» [1]. В большинстве случаев это событие, характеризующееся определенным со-

четанием причинно-следственных связей между элементами системы «человек – электроустановка – среда».

В данной системе человек является объектом, электроустановка – источником поражения, а среда оказывает влияние как на человека, так и на электроустановку. Работа по предупреждению *электротравматизма* основана на изучении свойств и взаимосвязи всех элементов этой системы с учетом их вероятностного характера и создании комплекса защитных мероприятий.

В общей массе травм на производстве с временной утратой трудоспособности вес *электротравм* незначителен – не более 2 %. Однако среди травм с летальным исходом *электротравмы* занимают ведущее место – более 12 %, т. е. каждая седьмая смертельная травма вызвана электрическим током [20].

Основные причины такого удельного веса смертельного *электротравматизма* можно сформулировать следующим образом:

- физиологическая несовместимость электрического тока и биологических процессов в организме;
- отсутствие внешних признаков опасности доступных токоведущих частей или металлических конструкций, случайно оказавшихся под напряжением (отсутствуют дым, свечение и другие угрожающие признаки);
- недооценка большинством работающих конкретной опасности контакта с токоведущими частями.

Протекая через организм человека, электрический ток производит:

- термическое действие;
- электролитическое действие;
- механическое действие;
- биологическое действие.

Термическое действие тока проявляется в ожогах. Согласно ГОСТ [1] *электрический ожог* – «травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги, а также электромагнитного поля». Проявляется в виде поражения отдельных участков тела, например, нагреве до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания электрического

тока, последнее вызывает в этих органах серьезные функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока выражается в разложении разнообразных органических жидкостей, в том числе тканевой жидкости и крови, что сопровождается значительными нарушениями их физико-химического состава.

Механическое (динамическое) действие тока выражается в расслоении, разрыве и других подобных повреждениях тканей организма, в том числе мышечной ткани, стенок кровеносных сосудов, сосудов легочной ткани и др., а также мгновенного взрывоподобного образования пара от перегретой током тканевой жидкости и крови.

Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биоэнергетических процессов, протекающих в нормально функционирующем организме и теснейшим образом связанных с его важнейшими жизненными функциями.

Электрический ток, проходя через организм, раздражает живые ткани, вызывая в них ответную реакцию – возбуждение, являющееся одним из основных физиологических процессов и характеризующееся тем, что живые ткани переходят из состояния относительного физиологического покоя в состояние аномальной для них деятельности, что приводит к различным **электротравмам**. Последние можно свести к двум видам:

- **местные электротравмы**, когда возникает местное повреждение организма;

- **общие электротравмы**, когда поражается весь организм.

Примерное распределение несчастных случаев от электрического тока:

- 20 % – местные;
- 25 % – электрические удары;
- 55 % – смешанные травмы.

Эти травмы часто сопутствуют друг другу, но они различны и должны рассматриваться отдельно [18, 20].

Местная электротравма – ярко выраженное локальное нарушение целостности тканей тела, в том числе костных тканей, вызванное воздействием электрического тока или электрической дуги. Чаще всего это по-

верхностные повреждения, т. е. поражения кожи, иногда других мягких тканей, а также связок и костей. Как правило, местные травмы излечиваются, работоспособность пострадавшего восстанавливается.

Характерные местные электротравмы – электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения и электроофтальмия. Местными электротравмами сопровождается 75 % случаев поражений электрическим током.

Из них:

- электрические ожоги – 40–50 %;
- электрические знаки – 7–10 %;
- металлизация кожи – 3–5 %;
- механические повреждения – 0,5–1,0 %;
- электроофтальмия – 1,5–2,0 %;
- смешанные травмы – 20–30 %.

Электрический ожог – наиболее распространенная *электротравма*. В зависимости от условий возникновения различают два основных вида ожога:

- токовый (контактный), возникающий при прохождении тока непосредственно через тело человека в результате его контакта с токоведущей частью;

- дуговой, обусловленный воздействием на тело *электрической дуги*, которая может возникнуть в аварийной ситуации в электроустановках высокого напряжения (1кВ и выше).

Токовый ожог возникает за счет нагрева тканей при протекании тока непосредственно через тело человека, как правило, в электроустановках напряжением до 1 кВ. Ожог тем опаснее, чем больше ток и время его прохождения. Так как сопротивление поверхностного слоя кожи значительно больше сопротивления внутренних органов и тканей, чаще всего результатом воздействия протекания тока являются ожоги кожи. Действие токов высоких частот может вызвать ожоги внутренних тканей.

Дуговой ожог наблюдается в электроустановках различных напряжений. При этом в установках до 6 кВ ожоги являются следствием случайных *коротких замыканий* (КЗ). В установках более высоких напряжений дуга может возникнуть при случайном приближении человека к токове-

дущим частям, находящимся под напряжением, на расстояние, при котором происходит пробой воздушного промежутка между ними (электрическая прочность сухого воздуха $E = 28 \div 30$ кВ/см), а также при повреждении изолирующих защитных средств (штанг, указателей напряжения и т. п.), которыми человек касается токоведущих частей, находящихся под напряжением при проведении измерений и профилактических работ. При ошибочных операциях с коммутационными аппаратами (например, при отключении разъединителя под нагрузкой с помощью штанги) дуга может перебрасываться на человека. Во всех этих случаях возникает мощная дуга, вызывающая обширные ожоги на теле человека и обуславливающая прохождение через него больших токов – в несколько ампер или даже десятков ампер.

Электрические знаки представляют собой резко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности тела человека, подвергшегося действию тока. Размер пятен 1–5 мм. Пораженный участок кожи затвердевает (происходит как бы омертвление верхнего слоя кожи). Поверхность знака сухая, не воспалена. Обычно электрические знаки безболезненны и лечение заканчивается благополучно. Эти знаки появляются примерно у 11 % пострадавших от тока.

Металлизация кожи – проникновение в верхние слои кожи мельчайших частиц металла, расплавившегося под действием *электрической дуги*, возникающей при КЗ. Мельчайшие брызги расплавленного металла под влиянием возникших электродинамических сил и теплового потока разлетаются во все стороны с большой скоростью. Поражаются обычно открытые участки тела, руки, лицо. Поражение глаз наиболее опасно. В этом случае работы, при которых возможно возникновение электрической дуги должны выполняться в защитных очках, открытая поверхность кожи должна быть закрыта одеждой.

Механические повреждения чаще всего это следствие резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием электрического тока. В результате могут произойти разрывы сухожилий, кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани, возможны также вывихи суставов и даже переломы костей. Механические повреждения происходят при поражении

человека электрическим током в основном в электроустановках до 1 кВ при относительно длительном воздействии тока.

Электроофтальмия – воспаление наружных оболочек глаз – роговицы и конъюнктивы (слизистой оболочки, покрывающей глазное яблоко), возникающее в результате воздействия мощного потока ультрафиолетовых лучей. Такое облучение возможно при горении электрической дуги, являющейся мощным источником ультрафиолетового излучения. Предупреждение электроофтальмии обеспечивается применением защитных очков (защитный щиток электросварщика).

Электрический удар – возбуждение живых тканей организма протекающим через него током, проявляющееся в непроизвольных судорожных сокращениях различных мышц тела. Имеет место рассеянность, ослабевают память и внимание. Если подобных ярко выраженных поражений организма не наступает, то и в этом случае считается, что электрический удар резко ослабляет сопротивляемость организма к болезням, в первую очередь, к сердечнососудистым и нервным, которые могут возникнуть у человека впоследствии и по другим причинам.

По степени воздействия на человека *электрического удара* можно выделить пять степеней:

- 1) судорожное, едва ощутимое сокращение мышц;
- 2) судорожное сокращение мышц, сопровождающееся сильными болями, без потери сознания;
- 3) судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;
- 4) потеря сознания и (или) нарушение сердечной деятельности или дыхания;
- 5) клиническая смерть.

Электрический удар является основной причиной смерти при поражениях током (примерно в 80–85 % от всех смертельных случаев). Исход воздействия тока на человека зависит от следующих факторов:

- значение и длительность протекания тока;
- род и частота тока;
- путь прохождения тока через организм человека;
- индивидуальные свойства человека.

Нарушение в работе сердца может выразиться в его фибрилляции.

Фибрилляция – хаотические разновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых сердце перестает работать и кровь не поступает к жизненно важным органам. Фибрилляция сердца может наступить в результате прохождения через тело человека по пути «рука – рука» или «рука – ноги» переменного тока промышленной частоты значением более 50 мА в течение нескольких секунд. Токи меньше 50 мА при кратковременном действии фибрилляции сердца у человека, как правило, не вызывают. При возникновении фибрилляции система кровообращения нарушается, движение крови прекращается. Если пострадавшему в течение 6–8 минут будет оказана необходимая помощь (применение дефибриллятора), то возможно восстановление работы сердца и оживление человека.

Воздействие электрического тока также может привести к нарушению внешнего дыхания (асфиксии), затруднению или полному прекращению поступления в организм кислорода, в конечном итоге асфиксия может привести к клинической, а затем – и к биологической смерти.

Электрический шок – тяжелая нервно-рефлекторная реакция организма в ответ на чрезмерное раздражение электрическим током, сопровождающаяся глубокими расстройствами кровообращения, дыхания, обмена веществ и т. п.

Шоковое состояние длится от нескольких десятков минут до суток. После этого может наступить или гибель человека в результате полного угасания жизненно важных функций, или выздоровление в результате своевременного активного лечебного вмешательства.

1.2. Критерии электробезопасности

Факт воздействия на организм человека электрических разрядов как статического электричества, так и в цепи электрохимических элементов тока был установлен еще в XVIII в. рядом исследователей.

Так впервые в истории электротехники опасность воздействия на человека электрического разряда была отмечена русским ученым В. В. Петровым (1761–1834), членом Петербургской академии наук, про-

фессором Медико-хирургической академии. В 1803 г. он зафиксировал феномен электротравмы. Электрическому удару он подвергся сам лично, проводя эксперимент в своей лаборатории и случайно коснувшись полюса собранной им батареи напряжением около 1800 В. Начиная с 1802 г., в русском журнале «Электричество» появляются систематические публикации о несчастных случаях, вызванных воздействием электрического тока.

В 1932 г. была опубликована статья об электротравме от удара переменным током (С. Еллинек), где впервые высказано предположение о том, что решающую роль во многих случаях поражений играет фактор внимания, т. е. тяжесть исхода поражения зависит в значительной степени от состояния нервной системы человека в момент поражения.

По мере расширения области промышленного применения электричества неизменно возрастал интерес к изучению воздействия электрического тока на организм человека и последствий этого воздействия.

В 50-х гг. XX в. было однозначно установлено, что при воздействии электрического тока на человека наиболее уязвимым органом является сердце. Также был выявлен факт, что исход поражения человека электрическим током определяется как значением тока, протекающего через тело, так и длительностью его протекания.

Согласно ГОСТ Р 12.1.009–2009 [1] различают три ступени воздействия тока:

1) **ощутимый ток** – электрический ток, вызывающий при прохождении через организм ощутимые раздражения;

2) **неотпускающий ток** – электрический ток, вызывающий при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник;

3) **фибрилляционный ток** – электрический ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца.

Для каждого тока вводится пороговое значение:

- **пороговый неотпускающий ток** – минимальное значение электрического тока заданных частоты и формы, вызывающее произвольное непреодолимое сокращение мышц;

- **пороговый ощутимый ток** – наименьшее значение ощутимого тока;

- **пороговый фибрилляционный ток** – минимальное значение электрического тока заданных частоты и формы, вызывающее фибрилляцию сердца (рис. 1.1).

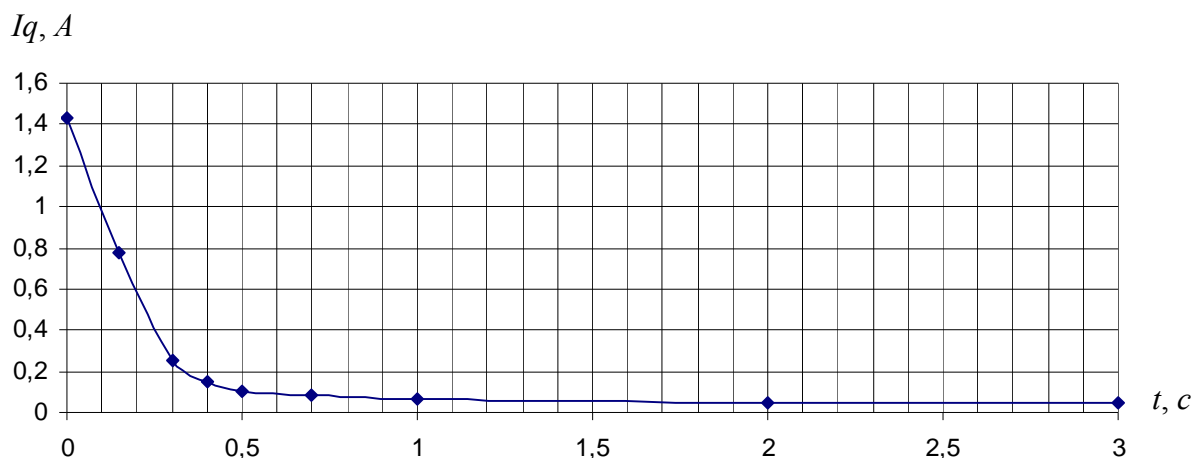


Рис. 1.1. Зависимость порогового фибрилляционного тока частотой 50 Гц от длительности его прохождения через тело человека [18]

Так пороговыми называются наименьшие значения токов, вызывающих соответствующие реакции (табл. 1.1). Эти токи не могут вызывать немедленное поражение человека, и, следовательно, они сравнительно не опасны. Однако длительное (в течение десятков секунд или минут) прохождение *ощутимого тока* через человека снижает сопротивление ороговевшего слоя кожи и может возрасти до уровня *порогового неотпускающего тока*.

Таблица 1.1

Пороговые значения токов, мА

Реакция	Переменный ток 50 Гц	Постоянный ток
Ощутимый	0,6–1,6	5–7
Неотпускающий	5–25	50–80
Фибрилляционный при $t \geq 1\text{--}3$ с	70–370	300–1 600

Пороговый неотпускающий ток также не вызывает немедленного поражения человека. Но он уже представляет опасность для человека, так

как, ему трудно самостоятельно освободиться от контакта с *токоведущей частью электроустановки*. Из-за снижения сопротивления тела человека ток растет далее, в результате чего усиливаются болевые ощущения и могут возникнуть нарушения работы сердца и легких, вплоть до летального исхода.

Пороговый фибрилляционный ток уже опасен для человека, так как через 1–3 секунды после начала его воздействия может возникнуть фибрилляция сердца и нарушиться его нормальная работа.

Длительное (несколько секунд) действие большого тока вызывает не только остановку сердца и прекращение дыхания, но и приводит к обширным и глубоким ожогам тела и другим тяжелым повреждениям.

Результат поражения человека электрическим током зависит от ряда факторов:

- рабочее напряжение сети;
- сопротивление всех элементов цепи тока, в том числе тела человека;
- значение тока, длительности воздействия электрического тока;
- путь тока в теле человека;
- состояние человека;
- условия окружающей среды;
- фаза сердечного цикла и фаза приложенного напряжения в момент включения человека в цепь.

Одним из важных факторов, от которых зависит исход поражения человека электрическим током, является электрическое сопротивление тела человека. Основную часть этого сопротивления создает кожа человека, а сопротивление внутренних органов человека не превышает 500–600 Ом.

Удельное объемное сопротивление тканей человека для тока промышленной частоты ($f = 50–60$ Гц) представлено в табл. 1.2.

Реальное значение сопротивления тела человека является величиной достаточно неопределенной, зависящей от многих факторов. Сопротивление кожи резко уменьшается при повреждении ее рогового слоя, увлажнении (пот, влага), загрязнении. Также реальное значение сопротивления зависит и от состояния самого человека. Кроме того, сопротивление снижается при увеличении приложенного к человеку напряжения, частоты тока, при увеличении времени протекания тока и увеличении плотности кон-

такта кожи с электродами при замере сопротивления. Сопротивление также зависит от места приложения электродов к телу человека, их площади, рода и значения тока, состояния окружающей среды. Согласно ГОСТ 12.1.038–82 [4], за расчетное значение сопротивления тела человека принимается 1 000 Ом при приложенном напряжении 50 В и 6 000 Ом при – 36 В. Так как реальное значение сопротивления тела человека является величиной достаточно неопределенной в момент контакта и зависит от многих факторов, то для расчетной оценки опасности *электропоражения* в электроустановке принято использовать в качестве основного критерия опасности **ток** через тело человека.

Таблица 1.2

Удельное объемное сопротивление тканей человека [18]

Наименование тканей тела человека	Удельное объемное сопротивление [Ом·м]
Кожа сухая	$3 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4$
Кости (без надкостницы)	$10^3 - 2 \cdot 10^6$
Жировая ткань	30–60
Мышечная ткань	1,5–3
Кровь	1–2
Спинномозговая жидкость	0,5–0,6

Напряжение прикосновения также является вторым важным критерием опасности. Третий важный критерий опасности – это **время протекания** электрического тока через тело человека.

Для расчетной оценки опасности *электропоражения* в электроустановке принято использовать в качестве критериев *электробезопасности* допустимый ток через тело человека, длительность его воздействия и допустимое напряжение прикосновения.

Защитные меры и средства от поражения электрическим током должны рассчитываться и создаваться с учетом допустимых для человека значений токов при данной длительности и пути его прохождения через тело или соответствующих этим токам напряжений прикосновения.

Установленные ГОСТ 12.1.038–82 [4] нормы предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов через тело человека распро-

страняются на производственные и бытовые электроустановки постоянного и переменного тока частотой 50 Гц и 400 Гц.

Эти предельно допустимые значения **напряжений прикосновения** и токов установлены указанным ГОСТ из расчета протекания тока по наиболее опасному пути тока через тело человека: от одной руки к другой и от руки к ногам.

Предусмотрены нормы для нормального (неаварийного) режима работы электроустановок (табл. 1.3) и для аварийного режима (табл. 1.4).

Таблица 1.3

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки [4]

Род тока	U , В	I , мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Примечания.

1. Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействий не более 10 мин в сутки и установлены исходя из реакции ощущения.

2. 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.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1 кВ с глухозаземленной или изолированной нейтралью не должны превышать значений, указанных в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Предельно допустимые значения тока через тело человека при аварийном режиме производственных электроустановок [4]

Род тока	Величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t , с											
		0,01–0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	> 1,0
Перемен. 50 Гц	U , В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	I , мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Перемен. 400 Гц	U , В	650	550	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	I , мА												8
Постоянный	U , В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	I , мА												15

Примечание. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при продолжительности воздействия более 1 с, приведенные в табл. 1.4, соответствуют отпускающим (переменным) и неболевым (постоянным) токам.

Стандарт [4] содержит также ряд определений:

- **аварийный режим электроустановки** – «работа неисправной электроустановки, при которой могут возникнуть опасные ситуации, приводящие к электротравмированию людей, взаимодействующих с электроустановкой»;

- **бытовые электроустановки** – «электроустановки, используемые в жилых, коммунальных и общественных зданиях всех типов, например, в кинотеатрах, клубах, школах, детских садах, магазинах, больницах и т. п., с которыми могут взаимодействовать как взрослые, так и дети».

Предельно допустимые по стандарту [4] значения тока и длительности его протекания через тело человека в диапазоне от 0 до 1 с (см. табл. 1.3) приблизительно описываются выражением (1.1).

$$I_{\text{доп}} = 50/t. \quad (1.1)$$

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1 кВ и частотой 50 Гц не должны превышать значений, указанных в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок [4]

Время воздействия t , с	Нормируемая величина		Время воздействия t , с	Нормируемая величина	
	U , В	I , мА		U , В	I , мА
От 0,01 до 0,08	220	220	0,6	40	40
0,1	200	200	0,7	35	35
0,2	100	100	0,8	30	30
0,3	70	70	0,9	27	27
0,4	55	55	1,0	25	25
0,5	50	50	св. 1,0	12	2

Примечание. Значения напряжений прикосновения и токов установлены для людей с массой тела свыше 15 кг.

Результат действия электрического тока (поражение человека) является величиной случайной и определяется целым рядом факторов.

Важнейшими из них являются факторы, определяющие вероятность возникновения электрической цепи «токопроводящие элементы электроустановки – человек», и протекание через тело человека критического значения тока в течение недопустимого интервала времени. Эти факторы зависят от состояния оборудования (исправное/неисправное) и параметров указанной цепи – напряжения прикосновения, рода тока, вида прикосновения (прямое/косвенное), переходного сопротивления, внутреннего сопротивления тела человека, состояния окружающей среды, пути тока через тело человека и др.

2. СИСТЕМА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

2.1. Факторы, определяющие вероятность поражения человека электрическим током

Результат действия электрического тока – поражение человека – является величиной случайной и определяется целым рядом факторов. Важнейшие из них обозначены выше (подразд. 1.2). Эти факторы зависят от состояния оборудования (исправное/неисправное) и параметров указанной цепи – вида прикосновения (прямое/косвенное), переходного сопротивления, внутреннего сопротивления тела человека.

Поражение человека происходит при совпадении двух факторов: вероятности того, что при прикосновении к электроустановке человек попадет под электрическое напряжение $P(A)$, и вероятности того, что количество электричества (т. е. ток и длительность его протекания), проходящее через тело человека, превысит допустимое значение $P(B)$.

Фактор $P(B)$ зависит от фактора $P(A)$, поэтому вероятность поражения электрическим током P_h определяется выражением

$$P_h = P(B/A)P(A). \quad (2.1)$$

Фактор $P(A)$, в свою очередь, можно определить, как:

$$P(A) = P(C)P(D), \quad (2.2)$$

где $P(C)$ – вероятность прикосновения человека к проводящим частям электроустановки; $P(D)$ – вероятность появления на проводящих частях электроустановки напряжения.

Таким образом, вероятность поражения определяется выражением

$$P_h = P(C) P(D) P(B/A). \quad (2.3)$$

Выражение (2.3) представляет вероятность поражения человека в самом общем виде. Рассмотрение и уточнение каждого из факторов, составляющих указанное выражение и зависящих от большого количества самых разнообразных условий (вида, конструкции электроустановки, ее параметров, обстоятельств включения человека в электрическую цепь, сопротивления тела человека в определенный момент времени, состояния его здоровья и многих других) приводит к созданию довольно сложной стохастической модели поражения электрическим током.

При поражении человека электрическим током, основным поражающим фактором является ток, проходящий через его тело. Однако имеется и ряд других, не менее влиятельных на исход поражения электротоком, факторов.

1. *Квалификация человека* также отражается на результатах воздействия тока. Так человек, далекий от электротехники, в случае попадания под напряжение оказывается, как правило, в более тяжелых условиях, чем опытный электротехник. Дело здесь не в «привычке» к электрическому току. Никакая тренировка не вырабатывает в организме иммунитета к току, а в опыте, умении правильно оценить степень возникшей опасности и применить рациональные приемы освобождения себя от действия тока. Этим, в частности, объясняется то, что в отечественных и зарубежных правилах и нормах требования к устройству и содержанию электроустановок в общепроизводственных цехах значительно более строги, чем в электротехнических цехах, куда имеет доступ лишь квалифицированный электротехнический персонал.

2. *Состояние здоровья.* Практикой установлено, что здоровые и физически крепкие люди переносят воздействие электрическим током легче, 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, легких, нервными болезнями и др.

3. Немалое значение имеет *психическая подготовленность* человека к возможной опасности поражения током. Так неожиданный электрический удар, даже при относительно небольшом напряжении, нередко приводит к тяжелым последствиям. Если же человек подготовлен к возможному по-

ражению током, т. е. ожидает его, то степень опасности резко уменьшается. Имеют значение также моральное состояние в процессе выполняемой работы, степень утомления и т. п.

2.2. Электрозащитные меры

Классификация способов и средств электрозащиты

Защитные меры, в зависимости от трех сомножителей выражения (2.3), определяющего вероятность поражения P_h , делятся на три основные категории.

1. Организационные меры защиты (для квалифицированного персонала), определяющие $P(C)$ и снижающие вероятность прикосновения человека к проводящим частям электроустановки:

- инструктажи, обучение;
- соблюдение правил техники безопасности, инструкций;
- оформление работ нарядом-допуском, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе; надзор во время выполнения работы;
- оформление перерывов и переводов на новое рабочее место по окончании работ.

2. Организационно-технические меры, определяющие $P(D)$ и снижающие вероятность появления на проводящих частях электроустановки напряжения:

- подготовка рабочих мест, изоляция и ограждение токоведущих частей электрооборудования;
- применение блокировок;
- безопасные режимы работы сети, защитные средства;
- предупредительные плакаты, сигнализация;
- защитная изоляция, изолирование рабочего места;
- установка переносных заземлителей и др.

3. Технические меры защиты, определяющие $P(B/A)$ и снижающие вероятность того, что количество электричества (т. е. ток и длительность его протекания), проходящее через тело человека, превысит допустимое значение:

- автоматическое отключение питания (защитное зануление, защитное отключение);
- защитное заземление;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная изоляция, изолирование рабочего места;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение сетей;
- контроль, профилактика изоляции, обнаружение ее повреждений, защита от замыканий на землю;
- защита от перехода напряжения с высшей стороны на низшую;
- молниезащита.

Перечисленные способы защиты представляет собой комплекс нормативно-технических документов, регламентированных Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) [15].

По принципу реализации защитного действия все существующие технические меры делятся на три основные группы.

1. Меры, обеспечивающие недоступность для человека токоведущих частей электрооборудования.

2. Меры, позволяющие снизить возможное значение тока через тело человека до безопасного значения.

3. Меры, позволяющие ограничить длительность воздействия электрического тока на организм человека.

Эти способы и средства применяют отдельно или в сочетании. В зависимости от напряжения сети, рода тока, режима нейтрали трансформатора, возможных условий включения человека в цепь тока (двухфазное, однофазное прикосновение к токоведущим частям электроустановки, прикосновение к металлическим нетокковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в аварийной ситуации, попадание под напряжение в зоне растекания тока и т. д.).

Основное правило защиты от поражения электрическим током может быть сформулировано следующим образом:

«Опасные токоведущие части не должны быть доступными, а доступные проводящие части не должны быть опасными:

- в нормальных условиях;**
- при наличии неисправности» [20].**

Для обеспечения этого в любой электроустановке должны быть предусмотрены три уровня защиты:

- 1) основная защита;
- 2) защита при повреждении изоляции;
- 3) дополнительная защита.

Основная защита обеспечивается посредством исключения контакта между человеком и опасными токоведущими частями. Основная защита должна обеспечивать защиту при прямом и косвенном прикосновении.

Некоторые токоведущие части полностью покрыты изоляцией, которая может быть удалена только в результате ее повреждения или разрушения самого защищаемого изделия. В других случаях основная изоляция может быть удалена только с использованием специальных инструментов. Кроме того, от прямого контакта защищают изолирующие оболочки.

В результате повреждения оболочки опасные токоведущие части становятся доступными для прямого прикосновения. Защита от таких видимых повреждений обеспечивается немедленным ремонтом поврежденного электрооборудования.

При повреждении изоляции должна обеспечиваться защита от поражения электрическим током при косвенном прикосновении.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного тока 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, при наличии требований соответствующих глав ПУЭ [15].

Защита от прямого прикосновения не требуется, если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, а наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В посто-

янного тока в помещениях без повышенной опасности и 6 В переменного или 15 В постоянного тока – во всех случаях.

Защита при повреждении изоляции между токоведущими частями, находящимися под напряжением, и доступными прикосновению открытыми проводящими частями электрооборудования должна быть обеспечена посредством устройства автоматического отключения или с помощью других мер защиты.

Защита при повреждении изоляции может включать одну защитную меру или более в сочетании с автоматическим отключением, в том числе – с использованием устройств защиты от сверхтоков и устройств защиты, реагирующих на дифференциальный ток (УЗО):

- использование *PEN*-проводника;
- уравнивание потенциалов, в том числе местным защитным заземлением с использованием автоматической защиты для отключения сверхтоков (системы *TT* или *IT*);
- выравнивание потенциалов;
- постоянный и периодический контроль изоляции;
- двойная изоляция;
- электрическое разделение сетей (разделяющий трансформатор);
- безопасное сверхнизкое напряжение (БСНН);
- функциональное сверхнизкое напряжение (ФСНН).

Дополнительная защита посредством использования УЗО применяется в качестве третьей и последней защитной меры для распределительных сетей. УЗО с током уставки не более 30 мА предотвращает возникновение фибрилляции сердца в результате протекания электрического тока через тело человека. Дополнительная защита должна применяться для переносных приборов, т. е. для сетей, питающихся от штепсельных розеток, или проложенных в помещениях с повышенной опасностью.

Главная задача дополнительной защиты состоит в обеспечении защиты при случайном непреднамеренном прямом прикосновении к токоведущим частям. Более того, дополнительная защита должна предотвращать смертельные поражения электрическим током и в том случае, когда защитный проводник оборван или неправильно присоединен, а также при повреждении двойной изоляции.

В электроустановках напряжением до 1 кВ устройство защитного отключения с номинальным током срабатывания, не превышающим 30 мА, рекомендуется применять в качестве дополнительной меры защиты от поражения электрическим током при прямом прикосновении в нормальном режиме работы электроустановки в случае недостаточности одной меры защиты или отказа других. Применение таких устройств не может быть единственной мерой защиты и не исключает необходимость применения одной из мер основной защиты.

Устройства защитного отключения могут применяться только в качестве дополнительной меры защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме.

В электрических сетях систем заземления *TN-S* и *TN-C-S* устройство защитного отключения с номинальным током срабатывания, не превышающим 30 мА, может быть применено в качестве основной защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении. Такие случаи могут иметь место, когда электрическая сеть содержит оборудование с недостаточной изоляцией относительно сети с более высоким напряжением (реле, дистанционные переключатели, контакторы и т. п.).

Защита от прямого прикосновения должна быть обеспечена ограждениями и оболочками или изоляцией, соответствующей минимальному испытательному напряжению, требуемому для первичной цепи.

Если изоляция не выдерживает указанного напряжения, она должна быть усилена в процессе монтажа электрооборудования так, чтобы выдерживать испытательное напряжение 1,5 кВ переменного тока (действующее значение) в течение 1 мин.

Детальное рассмотрение условий функционирования вышеперечисленных мер защиты приводится в разделах 3–8.

3. ТИПЫ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В зависимости от рабочего напряжения (до или выше 1 000 В), а также характера (способа) соединения «нейтрали» с «землей» существует ряд систем электроснабжения, обладающих разными свойствами в плане обеспечения безопасности.

Согласно ГОСТ Р 12.1.009–2009 [1], базовые понятия этой темы могут быть сформулированы следующим образом:

- **система заземления** – «функциональное заземление и защитное заземление точки или точек электроэнергетических систем»;

- **заземляющее устройство** – «совокупность всех электрических соединений и устройств, включенных в заземление системы или установки, или оборудования»;

- **заземлитель** – «проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду...»;

- **нейтральная проводящая часть** (нейтральный проводник) – «часть электроустановки, способная проводить электрический ток, потенциал которой в нормальном эксплуатационном режиме равен или близок к нулю».

В итоге, в зависимости от конфигурации системы электроснабжения, в дальнейшем будет использоваться термин *тип заземления системы*.

Тип заземления системы – понятие, определяющее взаимоотношение заземления разных элементов электрической системы, состоящей из источника питания, линии электропередачи и электроустановки здания (потребителя).

В зависимости от того, как осуществляются связи проводящих частей электроустановки здания с заземленными частями источника питания в сетях переменного тока, вместо привычных систем с *глухозаземленной* и *изолированной нейтралью*, появилось пять систем: *TN-C*; *TN-S*; *TN-C-S*; *TT* и *IT*. Данные об особенностях систем, применяемых для обеспечения электробезопасности в электроустановках зданий, рассматриваются ниже.

Система заземления является общей характеристикой питающей электрической сети и электроустановки здания.

Классификация систем заземления представлена в п. 312.2 ГОСТ Р 50571.2–94 [11].

В главе 1.7. ПУЭ [15] (7-е изд.) дана классификация электроустановок в отношении применяемых систем заземления, соответствующая вышеуказанному стандарту. Так в пункте 1.7.3 для электроустановок напряжением до 1 кВ приняты следующие обозначения:

- **система TN** – «система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников»;

- **система $TN-C$** – «система TN , в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении»;

- **система $TN-S$** – «система TN , в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении»;

система $TN-C-S$ – «система TN , в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания»;

- **система IT** – «система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части заземлены»;

- **система TT** – «система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника».

Условные обозначения систем заземления расшифровываются следующим образом.

Первая буква показывает связь с землей источника питания:

T – непосредственное присоединение одной точки токоведущих частей источника питания к земле;

I – все токоведущие части изолированы от земли или одна точка заземлена через сопротивление.

Вторая буква показывает характер заземления открытых проводящих частей электроустановки:

T – непосредственная связь открытых проводящих частей с землей, независимо от вида связи источника питания с землей;

N – непосредственная связь открытых проводящих частей с точкой заземления источника питания (в системах переменного тока обычно заземляется нейтраль).

Последующие буквы (если таковые имеются) – устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

S – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются отдельными проводниками;

C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (*PEN*).

3.1. Маркировка и условное обозначение характеристик электротехнических устройств

В электроустановках должна быть обеспечена возможность легкого распознавания их составных частей и элементов, как для удобства обслуживания, так и в целях предотвращения электротравматизма обслуживающего персонала. Распространенным и доступным способом распознавания токоведущих частей является их цветовое обозначение и маркировка.

Маркировкой называется система условных обозначений (марок) – буквенных, цифровых и цветовых, применяемых в схемах электрических соединений первичных и вторичных цепей, а также на самом оборудовании.

В соответствии с ПУЭ [15] буквенно-цифровое и цветовое обозначения одноименных шин должны быть одинаковыми в каждой электроустановке.

Шины должны быть обозначены:

1) при переменном трехфазном токе: фаза *L1* (*A*) – желтым цветом, фаза *L2* (*B*) – зеленым, фаза *L3* (*C*) – красным, нулевая рабочая *N* – голубым. При использовании нулевой шины и в качестве защитной она также

обозначается голубым цветом по всей длине и продольными полосами желто-зеленого цвета на концах;

2) при переменном однофазном токе: шина *B*, присоединенная к концу обмотки источника питания, – красным цветом, шина *A*, присоединенная к началу обмотки источника питания, – желтым цветом.

Шины однофазного тока, если они являются ответвлением от шин трехфазной системы, обозначаются как соответствующие шины трехфазного тока.

Цветовое обозначение (окраска) должно быть выполнено по всей длине шин, если оно предусмотрено также для более интенсивного охлаждения или для антикоррозионной защиты.

Проводники защитного заземления во всех электроустановках, а также нулевые защитные проводники в электроустановке напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, в том числе и шины, должны иметь буквенное обозначение *PE* и цветовое обозначение чередующимися продольными или поперечными полосами одинаковой ширины желтого и зеленого цветов.

Нулевые рабочие (нейтральные) проводники обозначаются буквой *N* и голубым цветом. Совмещенные нулевые защитные и нулевые рабочие проводники должны иметь буквенное обозначение *PEN* и цветовое обозначение: голубой цвет по всей длине и полосы желто-зеленого цвета на концах.

3.2. Системы заземления *TN-C*, *TN-S*, *TN-C-S*

При типе заземления системы *TN-C* (рис. 3.1) источник питания (трансформатор) имеет заземленную нейтраль, а все открытые проводящие части электрооборудования в электроустановке здания имеют непосредственную связь, с помощью *PEN*-проводника, с заземленной нейтралью трансформатора. То есть *PEN*-проводник выполняет функции, как питающего, по которому протекают уравнивающие токи, так и защитного проводника, пронизывающего всю систему распределения электроэнергии от источника питания до открытых проводящих частей электроустановки здания.

Система *TN-C* имеет в настоящее время широкое распространение в Российской Федерации, особенно в электроустановках зданий большой мощности. Основным видом электроустановок до 1 кВ в стране являются электроустановки с глухозаземленной нейтралью. В этих электроустановках для обеспечения защиты от поражения электрическим током также используется *защитное зануление* открытых проводящих частей.

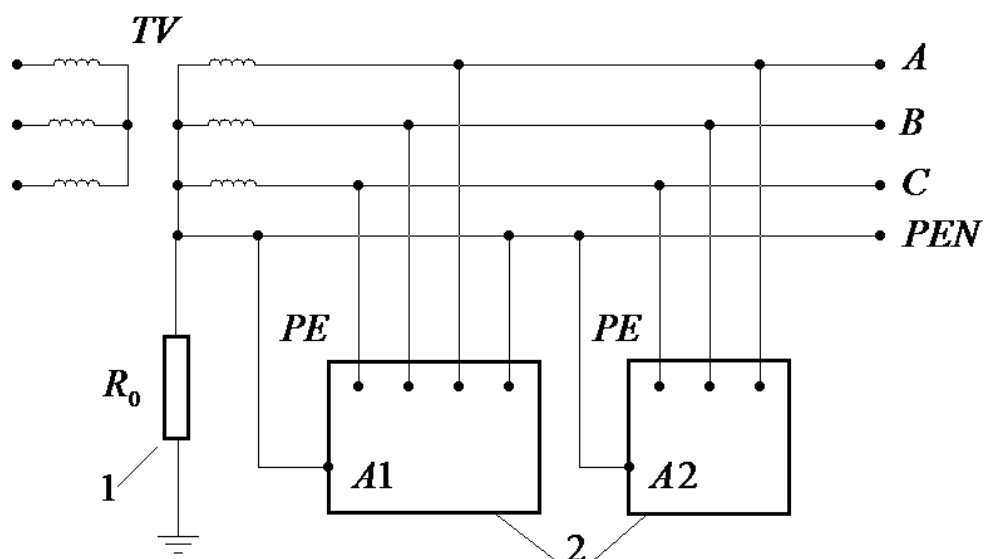


Рис. 3.1. Электрическая сеть с системой заземления *TN-C*
(нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены
в одном проводнике):

1 – рабочее заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части
(корпуса ЭУ); A1, A2 – электроустановки

Система *TN-C* может быть реализована во вновь сооружаемых и реконструируемых электроустановках зданий. Однако при данной системе сложно обеспечить такой же уровень электробезопасности, как при системах *TN-C-S*, *TN-S* и *TT*.

Так как по *PEN*-проводнику постоянно протекают рабочие токи, эти токи воздействуют на соединительные контакты и могут привести к ухудшению качества соединений и даже потере электрического контакта

«нулевого провода» в распределительном шкафу, и, как следствие, возникновению перенапряжений вследствие «перекоса» фаз.

Поэтому более высокой степенью надежности, чем одиночный *PEN*-проводник, обладают отдельные нулевые питающие и нулевые защитные проводники. Их применение в электроустановках зданий позволяет обеспечить более высокий уровень электробезопасности.

При типе заземления системы *TN-S* (рис. 3.2) заземлена нейтраль трансформатора, а открытые проводящие части электроустановки здания имеют непосредственную связь с заземленной нейтралью. Для обеспечения этой связи во всей системе применяются: нулевой рабочий проводник и отдельно – нулевой защитный проводник.

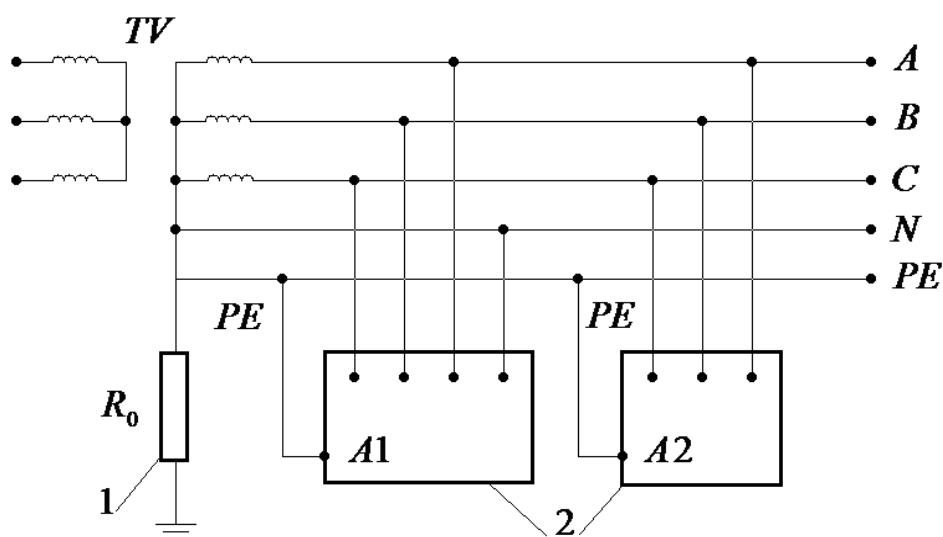


Рис. 3.2. Электрическая сеть с системой заземления *TN-S*
(нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно):

1 – рабочее заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части
(корпуса ЭУ); *A1*, *A2* – электроустановки

При применении системы *TN-S* в электроустановках зданий можно обеспечить более высокий уровень электробезопасности, чем при использовании системы *TN-C*.

Это обеспечивается за счет, прежде всего, использования отдельного нулевого защитного проводника, по которому в нормальном режиме элек-

троустановки здания протекает только ток, значение которого приблизительно равно суммарному току утечки работающего в данный момент электрооборудования класса I.

Этот ток значительно меньше рабочего тока, который обычно протекает по одиночному *PEN*-проводнику. Поэтому вероятность нарушения контакта электрической цепи у нулевого защитного проводника существенно меньше, чем у *PEN*-проводника.

В настоящее время система *TN-S* практически не используется, так как для реализации системы *TN-S* в распределительной сети следует использовать воздушные и кабельные линии, которые должны иметь на один проводник больше, чем при реализации систем *TN-C*, *TN-C-S* и *TT*. Система *TN-S* может быть реализована при питании электроустановок коттеджей от собственных отдельных подстанций или во вновь сооружаемых объектах.

В системе *TN-C-S* (рис. 3.3) источник питания имеет заземленную нейтраль, а открытые проводящие части электроустановки здания имеют непосредственную связь с ней.

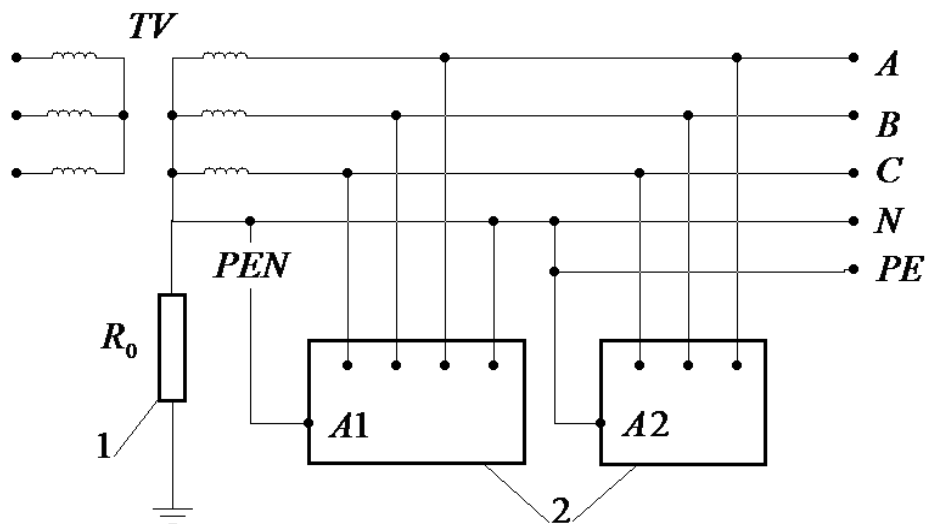


Рис. 3.3. Система *TN-C-S* переменного тока (нулевой защитный (*PE*) и нулевой рабочий (*N*) проводники совмещены в одном проводнике в части системы, в другой части они разделены):

1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 – открытые проводящие части

Для обеспечения этой связи в распределительной сети и на головном (по току электроэнергии) участке электроустановки здания применяются *PEN*-проводники, а в электрических цепях остальной части электроустановки здания – нулевые защитные проводники (*PE*).

В системе *TN-C-S*, в отличие от системы *TN-C*, функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике не во всей электроустановке здания, а только в ее части. В какой-либо точке электроустановки здания *PEN*-проводник делится на два проводника – нулевой защитный и нулевой рабочий, например, на вводе в здание – на вводном зажиме или на нулевой защитной шине воздушного распределительного устройства (ВРУ). *PEN*-проводник может быть разделен также в любой другой точке электроустановки здания, например, на вводном *PE* зажиме (шине) распределительного щитка.

В первом случае во всей электроустановке здания применяются два самостоятельных проводника – нулевой защитный и нулевой рабочий. Во втором случае в головной (по току электроэнергии) части электроустановки здания используется *PEN*-проводник, а после точки его деления – два нулевых проводника: защитный и рабочий. Открытые проводящие части электрооборудования класса I присоединяются соответственно к нулевым защитным проводникам во всей электроустановке здания или в головной части электроустановки они присоединяются к *PEN*-проводнику, а в остальной части – к нулевому защитному проводнику. Так как распределительная сеть в системе *TN-C-S* имеет такое же построение, как и в системе *TN-C*, система *TN-C-S* в будущем будет широко применяться в электроустановках жилых зданий, что обуславливается рядом причин:

- во-первых, возможностью использования существующих распределительных электрических сетей без их существенной реконструкции;

- во-вторых, развитием системы *TN-C* и соответствующим ей электроустановкам до I кВ с глухозаземленной нейтралью, получившим повсеместное распространение.

- в-третьих, в электроустановках зданий, соответствующих системе *TN-C-S*, весьма просто выявляются ошибки, допущенные при коммутации нулевых защитных и нулевых рабочих проводников. Если для защиты от косвенного прикосновения в электроустановке здания применяются устройства защитного отключения на дифференциальном токе (УЗО), то они

будут отключать защищаемые электрические цепи, сигнализируя о коммутационных ошибках.

В целом, при наличии защитного заземления в электроустановке, система $TN-C-S$ позволяет обеспечить высокий уровень электробезопасности при более низких затратах на строительство линии электропередачи, по сравнению с системой $TN-S$.

Реализовать систему $TN-C-S$ для электроустановки здания достаточно просто. Разделение PEN -проводника целесообразно производить на вводных зажимах ВРУ. Далее во всей электроустановке дома следует использовать два проводника: нулевой защитный и нулевой рабочий, которые не должны иметь между собой электрического соединения.

Система $TN-C-S$ применяется и в распределительных сетях постоянного тока. Функции заземленного линейного проводника, в данном случае $L(-)$ или N , и защитного проводника PE совмещены в одном проводнике PEN в части системы.

3.3. Системы заземления IT , TT

При системе IT (рис. 3.4) источник питания не имеет заземленных токоведущих частей или заземление какой-либо его токоведущей части выполняется через сопротивление. Открытые проводящие части заземляются с помощью собственного заземляющего устройства электроустановки здания.

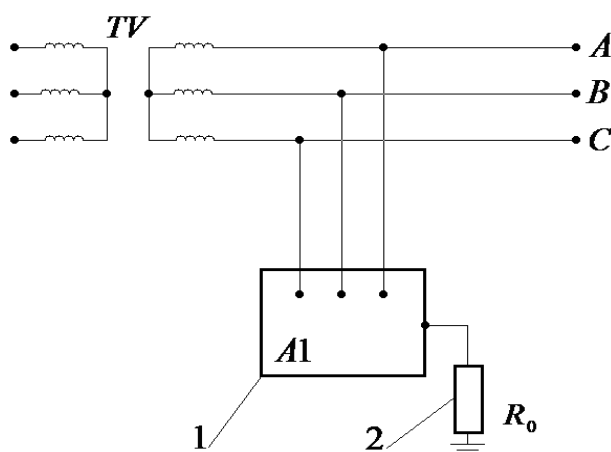


Рис. 3.4. Система IT переменного тока:

1 – открытые проводящие нетоковедущие части электроустановки;

2 – заземление корпусов ЭУ (защитное заземление)

Ближайшим аналогом электроустановок зданий, соответствующих типу заземления системы IT , являются электроустановки до 1 кВ с изолированной нейтралью по классификации ПУЭ [15]. Подобные электроустановки применяются в зданиях и сооружениях специального назначения в тех случаях, когда необходимо обеспечить повышенный уровень электробезопасности. Например, система IT , в которой источником питания является разделительный трансформатор, применяется в той части электроустановки здания, которая охватывает электрооборудование операционных блоков больниц.

В электроустановках индивидуальных жилых домов система IT не применяется. Однако система IT может быть использована при питании электроприемников строящегося дома от передвижной электростанции.

При системе TT (рис. 3.5) токоведущая часть источника питания заземлена. Открытые проводящие части электроустановки здания также заземлены. Для их защитного заземления применяется заземляющее устройство, заземлитель которого должен быть электрически независим от заземлителя источника питания.

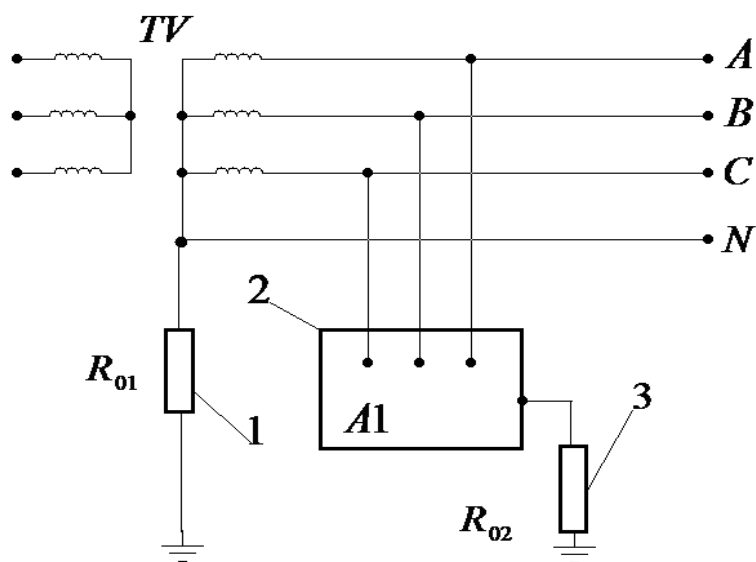


Рис. 3.5. Система TT переменного тока в четырехпроводной распределительной сети:

1 – рабочее заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части (корпуса ЭУ); 3 – заземление корпуса ЭУ (защитное заземление);
A1 – электроустановка

Система *TT* позволяет обеспечить в электроустановке здания достаточно высокий уровень электробезопасности, поэтому она широко применяется за рубежом.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 50669–94 [12] система *TT* является основной для *электроустановок зданий из металла*. Как указывается в стандарте, преимущество системы *TT* заключается в том, что на открытых проводящих частях электрооборудования и сторонних проводящих частях здания из металла электрический потенциал в нормальном режиме электроустановки здания всегда равен потенциалу земли.

Реализация системы *TT* возможна при подключении электроустановки здания к существующей распределительной электрической сети. Однако в некоторых случаях реализация системы *TT* может быть значительно затруднена, например, в городских условиях при плотной застройке и развитой инфраструктуре очень сложно смонтировать электрически независимые заземлители.

Наиболее перспективной электрозащитной системой в нашей стране является система *TN-C-S*, позволяющая в комплексе с широким внедрением УЗО обеспечить высокий уровень электробезопасности в электроустановках без их коренной реконструкции.

Следует особо отметить, что в электроустановках с системами заземления *TN-S* и *TN-C-S* электробезопасность потребителя обеспечивается не соединением токопроводящих частей оборудования с заземляющим устройством, а действием защиты – автоматического отключения источника питания, в первую очередь, устройствами защитного отключения (УЗО). Важным условием является то, что УЗО действует более эффективно в комплексе с этими системами заземления и системой уравнивания потенциалов.

Собственно сами системы заземления, без УЗО, не обеспечивают необходимой безопасности. Например, при пробое изоляции на корпус электроприбора или какого-либо аппарата, при отсутствии УЗО отключение этого потребителя от сети осуществляется устройствами защиты от сверхтоков – автоматическими выключателями или плавкими вставками.

Быстродействие устройств защиты от сверхтоков, во-первых, уступает быстродействию УЗО на дифференциальном токе, а, во-вторых, зависит

от многих факторов – кратности тока короткого замыкания, которая в свою очередь определяется сопротивлением фазных и нулевых проводников, переходным сопротивлением в месте повреждения изоляции, длиной питающих линий, точностью калибровки автоматических выключателей и др.

Наличие на объекте металлических корпусов, арматуры и других металлических частей оборудования, соединенных с *РЕ*-проводником, повышает опасность электропоражения, поскольку в этом случае вероятность образования цепи: «токоведущий проводник – тело человека – земля» гораздо выше.

4. АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ВКЛЮЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЦЕПЬ

Протекание тока через тело человека возможно при его включении в электрическую цепь, для чего необходимо прикосновение человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторая разность потенциалов. Опасность поражения зависит от величины напряжения прикосновения (разности потенциалов) и условий включения человека в электрическую цепь (внутреннее комплексное сопротивление внешней по отношению к человеку электрической цепи).

Согласно ГОСТ Р 12.1.009–2009 [1] современная система электробезопасности должна обеспечивать защиту человека от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- **прямое прикосновение** – «электрический контакт людей или животных с токоведущими частями»;
- **косвенное прикосновение** – «электрический контакт людей или животных с открытыми проводящими частями, которые оказались под напряжением при повреждении».

Под *косвенным прикосновением* понимается прикосновение человека к *открытым проводящим нетоковедущим частям* оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал. В аварийных же ситуациях при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или даже ее полный пробой на корпус, на проводящих частях оборудования возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для питания потребителей в сетях переменного тока используются **однофазные** (рис. 4.1, а, б) и **трехфазные** (рис. 4.1, в, г, д) сети, причем в производственных помещениях преимущественно трехфазные.

Трехфазные сети могут быть выполнены по разным схемам, однако в Российской Федерации наибольшее применение нашли две схемы: трехпроводная с изолированной *нейтралью* и четырехпроводная с заземленной *нейтралью*.

Для питания городского электротранспорта используется однопроводная сеть (рис. 4.1, *е*).

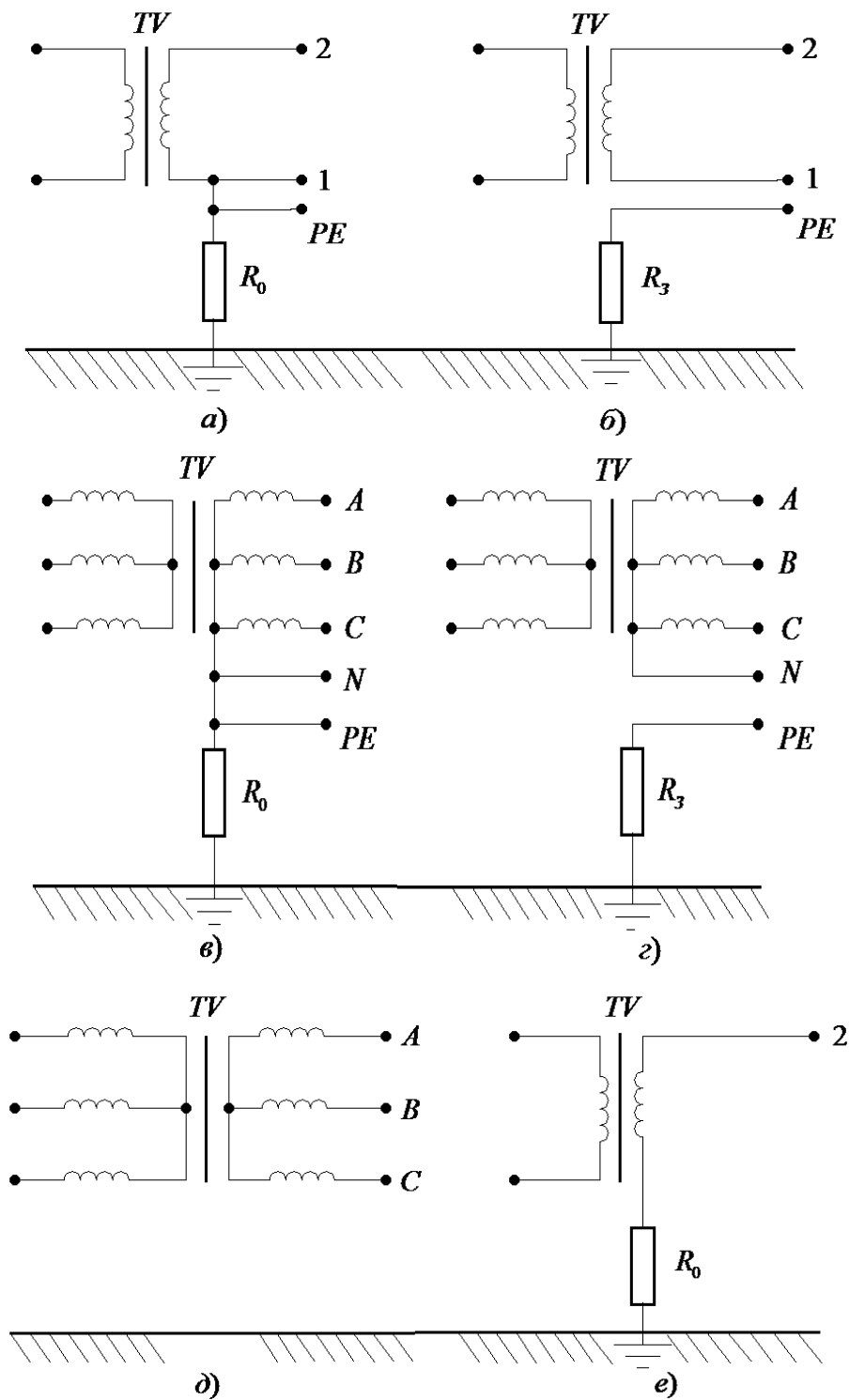


Рис. 4.1. Виды электрических сетей по числу проводов и способу заземления нейтрали:

а), б) трехпроводные однофазные; *в), г)* пятипроводные; *д)* трехпроводная (трехфазная); *е)* однопроводная (с заменой одного провода «землей»)

На рис. 4.1: R_0 – сопротивление заземляющего устройства нейтрали источника тока; R_3 – сопротивление защитного заземляющего устройства.

Согласно ГОСТ Р 12.1.009–2009 [1] под *нейтралью* источника тока понимаются следующие проводящие части электроустановки:

- **нейтральная проводящая часть** – «часть электроустановки, способная проводить электрический ток, потенциал которой в нормальном эксплуатационном режиме равен или близок к нулю»;

- **заземленная нейтраль** – «нейтраль сети, соединенная с землей наглухо или через резистор или реактор, сопротивление которого достаточно мало...»;

- **изолированная нейтраль** – «нейтраль сети, которая не имеет соединений с землей, за исключением приборов сигнализации, измерения и защиты, имеющих весьма высокое сопротивление...».

Схемы включений человека в цепь тока могут быть различными, однако наиболее характерны две схемы:

- включение между двумя фазами электрической сети;
- включение между одной фазой и землей.

Во втором случае опасность включения человека в электрическую цепь связана с наличием электрической связи между токоведущими частями ЭУ и землей, которая может быть обусловлена несовершенством изоляции проводов относительно земли, наличием емкости между проводами и землей, заземлением *нейтрали* источника (рис. 4.2).

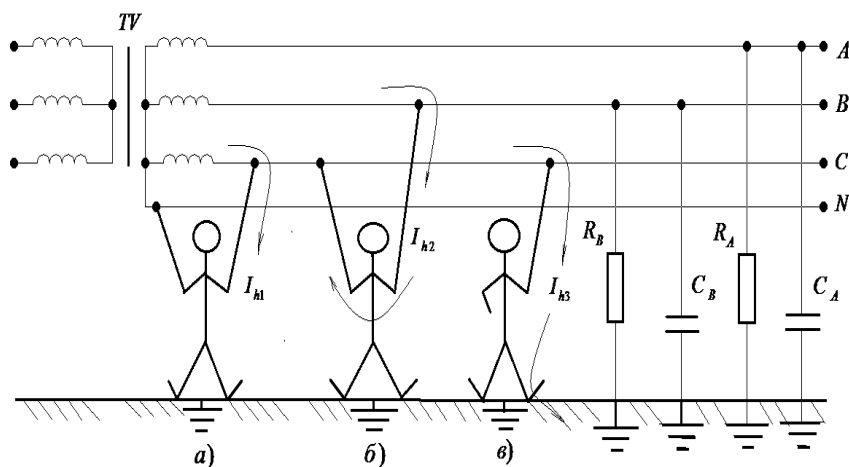


Рис. 4.2. Возможные случаи прикосновения к токоведущим частям электрических сетей

Более детальный анализ последствий прикосновения к токоведущим частям электрических сетей представлен в подразд. 4.1, с использованием возможностей, предоставляемых системой проектирования «*Electronics Workbench*» [21]. Электрический эквивалент тела человека для дальнейшего применения представлен на рис. 4.3.

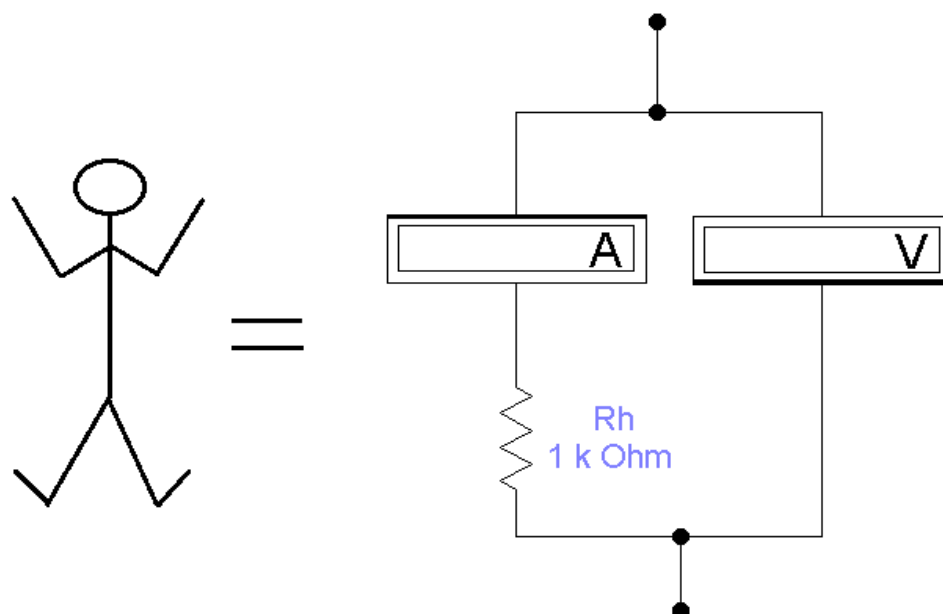


Рис. 4.3. Электрический эквивалент тела человека

4.1. Двухполюсное прикосновение к фазным проводникам в IT-сети

Электрический ток протекает по пути «рука – рука» (см. рис. 4.2, а, б). В этом случае (и последующих) расчет проводится для следующих исходных данных: $R_h = 1\,000\ \text{Ом}$, $U_\Phi = 220\ \text{В}$.

Ток через тело человека при двухполюсном прикосновении к фазным проводам рассчитывается по формуле

$$I_h = \frac{U_\Phi \cdot \sqrt{3}}{R_h} = \frac{220 \cdot \sqrt{3}}{1\,000} = 380\ \text{мА}. \quad (4.1)$$

Этот случай включения человека в сеть является наиболее опасным, так как, во-первых, он включен на линейное напряжение 380 В, а, во-вторых, ток через тело человека ограничивается только его сопротивлением (рис. 4.4, а). Аналогичная ситуация возникает при включении на фазное напряжение (рис. 4.4, б).

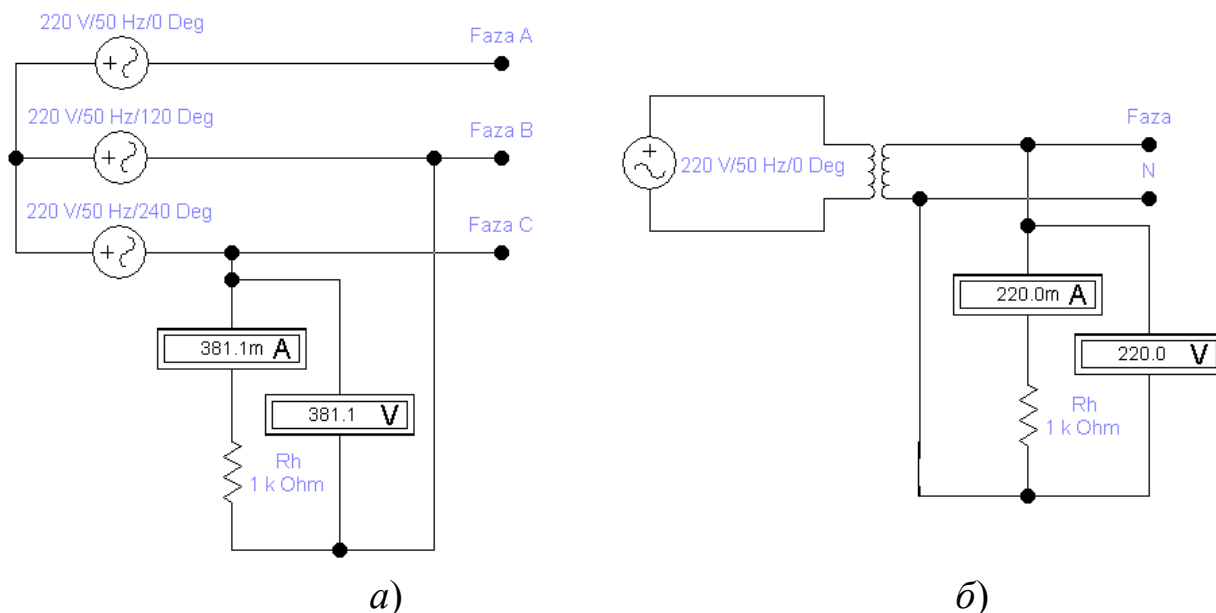


Рис. 4.4. Двухполюсное прикосновение в ИТ-сети

4.2. Однополюсное прикосновение к фазному проводнику ИТ-сети в нормальном и аварийном режиме

Путь протекания тока через тело человека в этом случае «рука – ноги» (см. рис. 4.2, в). Его значение определяется по формуле

$$I_h = U \frac{R_1}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_h + R_2 \cdot R_h}. \quad (4.2)$$

Если сопротивления изоляции фаз относительно земли $R_1 = 50$ кОм, $R_2 = 80$ кОм, тогда $I_h = 2,66$ мА.

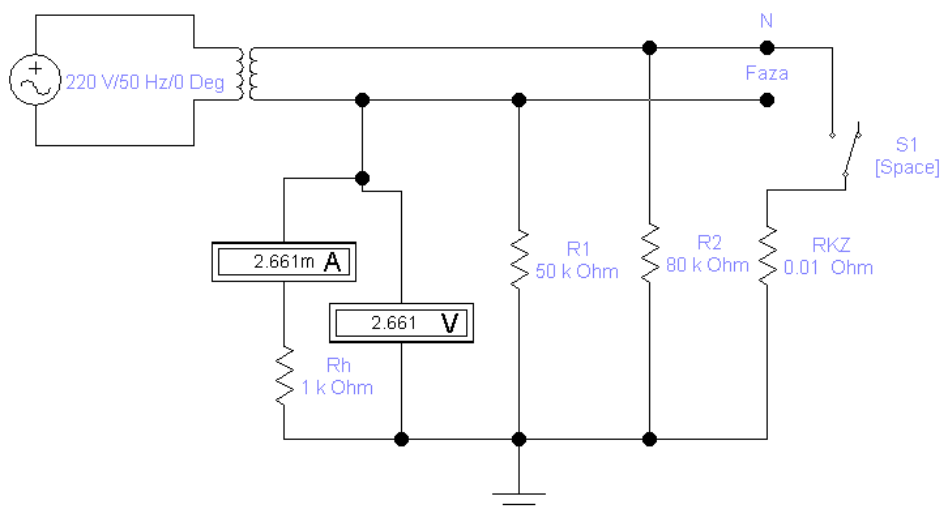


Рис. 4.5. Однополюсное прикосновение к фазному проводнику в нормальном режиме сети

Однополюсное прикосновение к фазному проводнику в режиме замыкания на землю реализуется при замкнутом положении переключателя $S1$ (рис. 4.5).

Для принятых выше исходных данных ток будет равен $I_h = 220$ мА, так же, как и в случае, представленном на рис. 4.4, б.

4.3. Однополюсное прикосновение в однофазной сети *TN-C*

Ток при однополюсном прикосновении (рис. 4.6) определяется по формуле

$$I_h = \frac{U}{R_h + R_0 + R_n + R_{об}}. \quad (4.3)$$

При сопротивлении рабочего заземлителя $R_3 = R_0 = 4$ Ом и сопротивлениях пола и обуви $R_{пер} + R_{об} = 30 + 20 = 50$ кОм ток через человека будет равен: $I_h = 4,3$ мА.

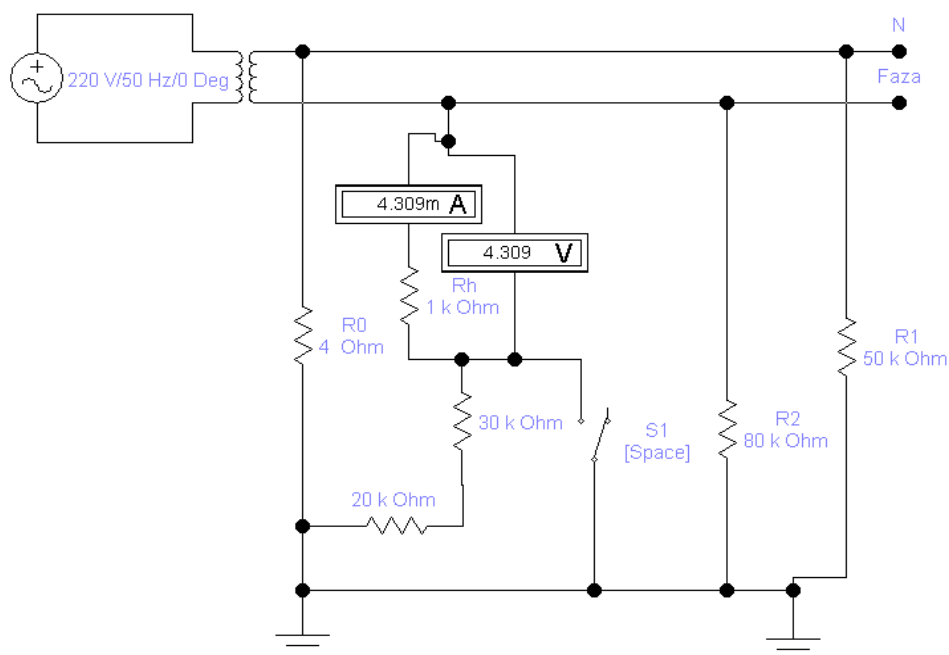


Рис. 4.6. Сеть *TN-C* (однополюсное прикосновение)

Без учета сопротивлений пола и обуви (например, человек без обуви и на металлическом полу) ток резко возрастет: $I_h = 219$ мА. Для этого достаточно дать команду на замыкание цепи $R_{\text{пер}} + R_{\text{об}} = 50$ кОм выключателем $S1$.

4.4. Прикосновение к заземленному проводнику в нормальном режиме сети *TN-C* и в аварийном режиме (при наличии короткого замыкания)

Согласно электрической схеме (рис. 4.7) напряжение прикосновения зависит сопротивления нейтрали и тока нагрузки.

Так при токе нагрузки в сети $I_H = 15$ А, сопротивление провода на участке АВ сети $R_{AB} = 0,5$ Ом. Тогда, пренебрегая токами через изоляцию и R_1 и R_2 (при высоком сопротивлении изоляции), ток I_h определяется выражением:

$$I_h = \frac{U_{AB}}{R_h + R_0} = \frac{I_H \cdot R_{AB}}{R_h + R_0} \quad (4.4)$$

и будет равен: $I_h = 7,46$ мА.

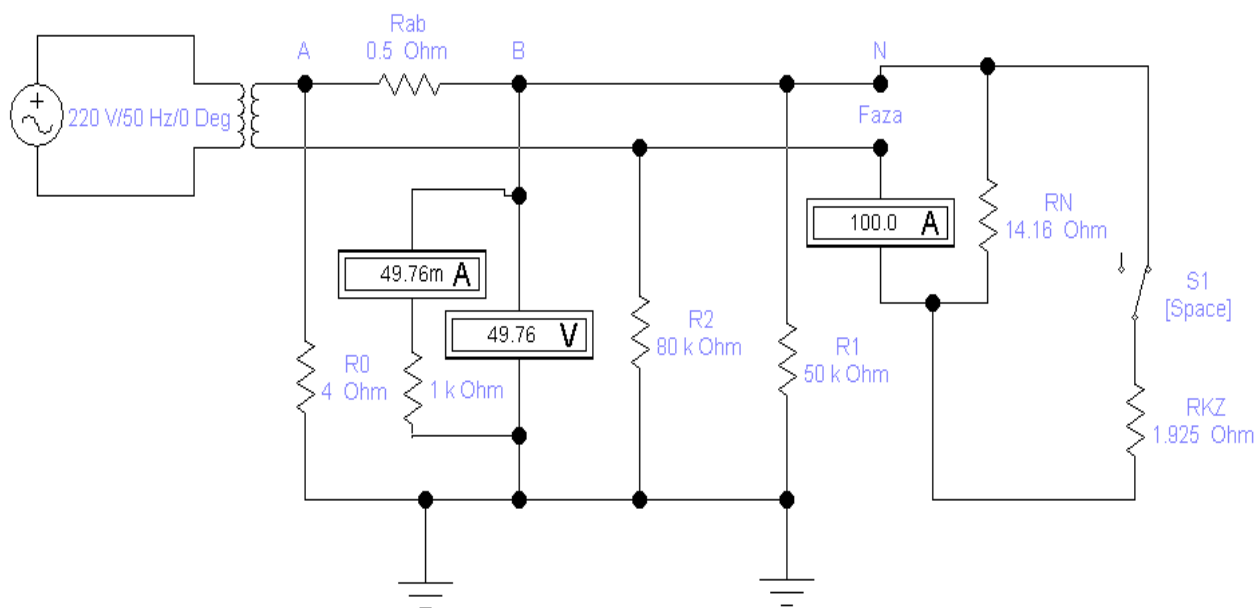


Рис. 4.7. Прикосновение к заземленному проводнику сети *TN-C*

При коротком замыкании в цепи нагрузки по питающим проводам протекает ток короткого замыкания $I_{КЗ}$ (рис. 4.7, выключатель $S1$ замкнут). Этот ток создает падение напряжения на сопротивлении R_{AB} участка AB .

При высоких значениях сопротивлений изоляции R_1 и R_2 ток I_h зависит от падения напряжения на участке AB :

$$I_h = \frac{I_{КЗ} \cdot R_{AB}}{R_h + R_0}. \quad (4.5)$$

При $I_{КЗ} = 100$ А, $R_{AB} = 0,5$ Ом, $I_h = 50$ мА.

4.5. Однополюсное прикосновение к фазному проводнику *IT*-сети с активной и емкостной проводимостями

В этом случае ток через тело человека зависит от состояния изоляции проводов относительно земли и определяется значениями активных и емкостных проводимостей проводов относительно земли (рис. 4.8).

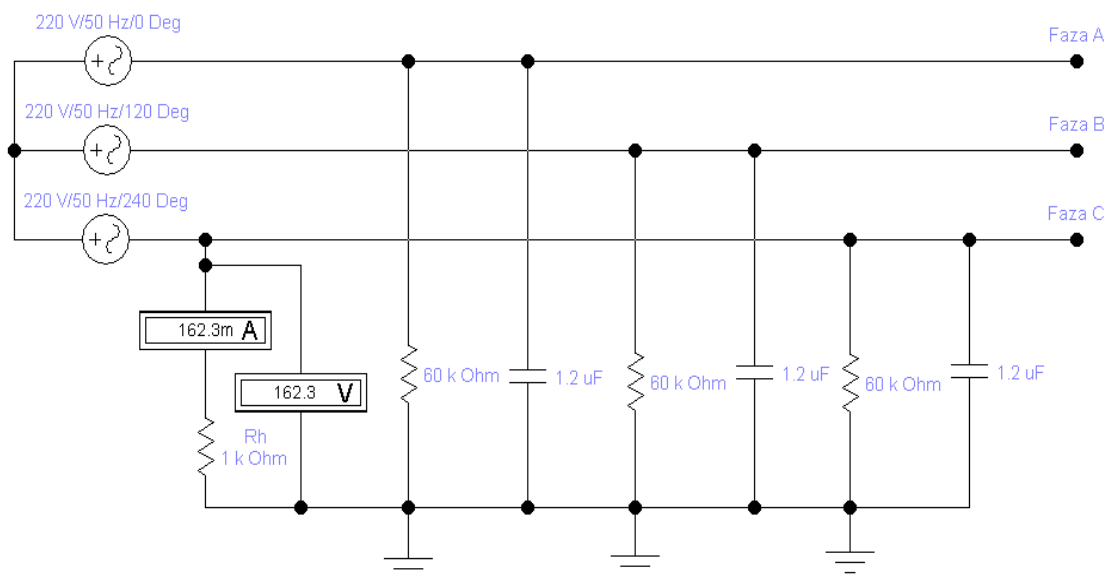


Рис. 4.8. Однополюсное прикосновение человека к фазному проводнику *IT*-сети

Значения емкостных проводимостей прямо пропорциональны значениям емкости провода относительно земли C_Φ и частоты электрического тока f . Для промышленных сетей частота равна $f = 50$ Гц (круговая частота $\omega = 2\pi f$).

Емкостная проводимость соответственно равна $b_c = \omega C$.

Ток через человека можно найти по формуле

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R_\Phi (R_\Phi + 6 \cdot R_h)}{9 R_h^2 (1 + R_\Phi^2 \omega^2 C_\Phi^2)}}}. \quad (4.6)$$

Пример. При $R = 60$ кОм, $C = 1,2$ мкФ, $f = 50$ Гц ($\omega = 314$), $I_h = 162$ мА.

4.6. Однополюсное прикосновение человека к фазе *IT*-сети с большой емкостью относительно земли

В этом случае активное сопротивление большое (рис. 4.9), поэтому активная составляющая тока через человека мала и не учитывается, и ток

определяется, в отличие от предыдущего варианта, в основном, емкостной проводимостью по формуле

$$I_h = \frac{3 \cdot U_\Phi}{\sqrt{9R_h^2 + \frac{1}{\omega^2 \cdot C^2}}}; \quad X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}. \quad (4.7)$$

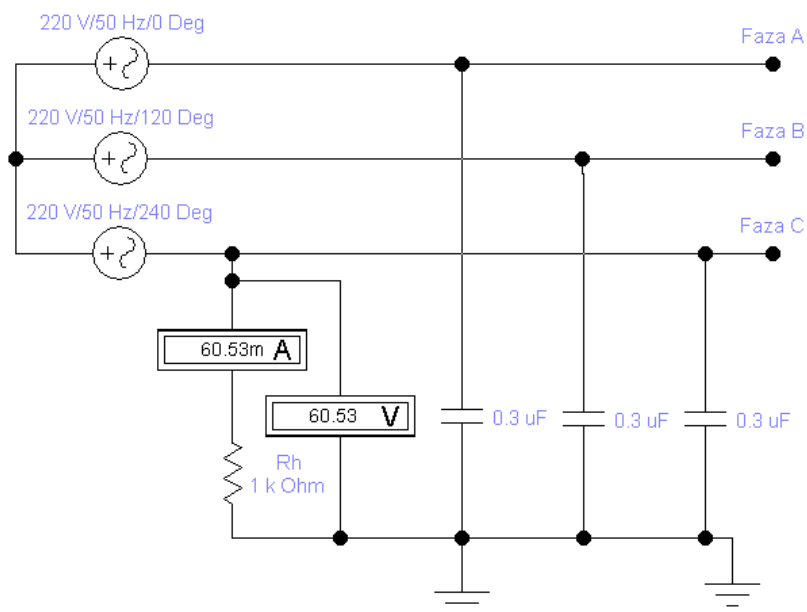


Рис. 4.9. Однополюсное прикосновение человека к фазному проводнику *IT*-сети с емкостной проводимостью относительно Земли

Если емкость фазного проводника относительно земли $C_\Phi = 0,3$ мкФ, тогда $X_C = 10,615$ кОм и значение тока через тело человека будет равно $I_h = 60,5$ мА.

4.7. Прикосновение человека к одной из фаз *IT*-сети в нормальном и аварийном (замыкание фазы на землю) режиме без учета емкости сети относительно земли

В этом варианте включения в цепь при расчете тока через тело человека учитывается только активная проводимость изоляции (рис. 4.10), а, следовательно, только активная составляющая тока. Такое возможно,

например, в коротких по протяженности линиях передач, где емкости между проводами и землей незначительны.

Расчетная формула тока через тело человека имеет вид:

$$I_h = \frac{3 \cdot U_{\Phi}}{3 \cdot R_h + R_{\Phi}}. \quad (4.8)$$

В этом случае ток через человека зависит от сопротивления изоляции и при $R_{\Phi} = 60 \text{ кОм}$ его значение будет равно $I_h = 10,5 \text{ мА}$.

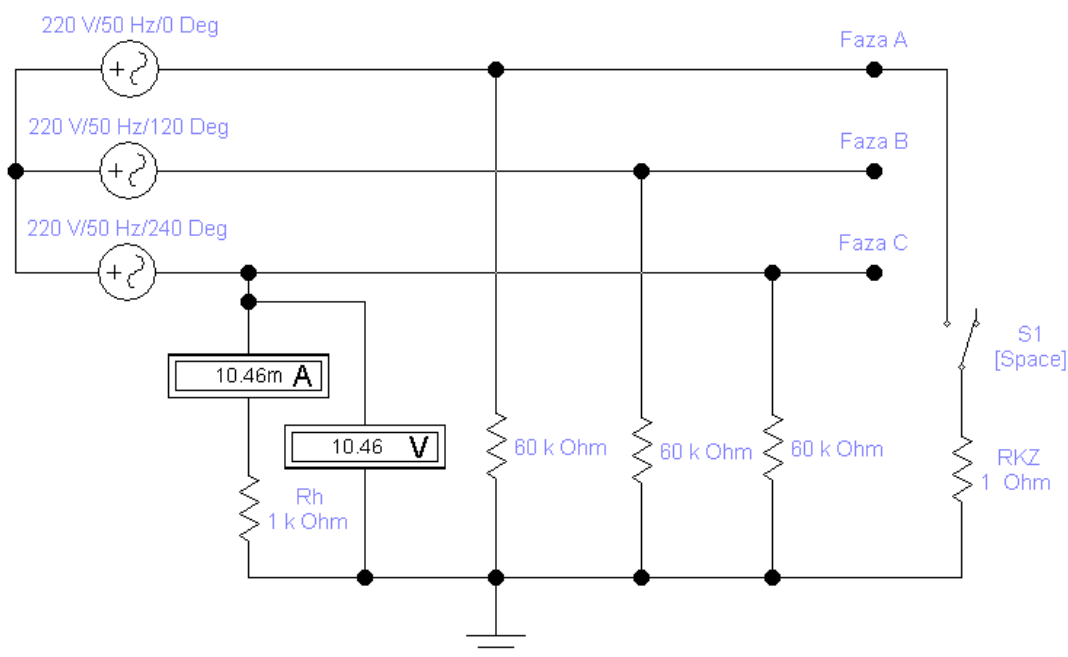


Рис. 4.10. Однополюсное прикосновение человека к фазному проводнику ИТ-сети

При коротком замыкании фазы *A* на землю человек оказывается под линейным напряжением, и ток через него ограничивается величиной сопротивлений R_h и сопротивлением растеканию тока по поверхности земли R_Z (рис. 4.10, выключатель *S1* замкнут):

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\Phi}}{R_h + R_Z} = 371 \text{ мА}. \quad (4.9)$$

4.8. Однополюсное прикосновение человека к фазному проводнику сети *TN-C* в нормальном и аварийном режиме

Здесь ток через человека замыкается через заземленную нейтраль и определяется фазным напряжением и сопротивлением тела человека (рис. 4.11) (сопротивление $R_0 = 4 \text{ Ом}$):

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + R_0} = 219 \text{ мА.} \quad (4.10)$$

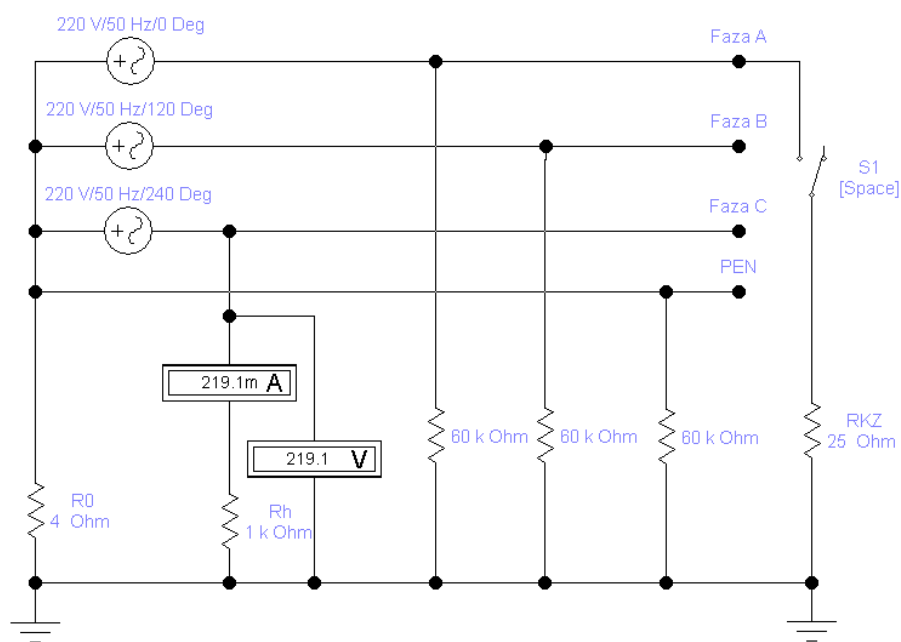


Рис. 4.11. Однополюсное прикосновение к фазному проводнику

При коротком замыкании фазы *A* на землю (выключатель *S1* замкнут), ток через тело человека в этом случае будет равен:

$$I_h = U_\Phi \frac{R_{KZ} + R_0 \sqrt{3}}{R_0 \cdot R_{KZ} + R_h (R_0 + R_{KZ})}, \quad (4.11)$$

где R_{KZ} – сопротивление в месте замыкания на землю. Так при $R_{KZ} = 25 \text{ Ом}$ ток $I_h = 236 \text{ мА}$.


5. МЕРЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ НЕДОСТУПНОСТЬ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

К данной группе электробезопасных мер относятся:

- изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение оборудования вне зоны досягаемости, различные системы блокировок и сигнализации, исключающие прикосновение человека к проводящим элементам электроустановки, находящимся под напряжением (ГОСТ Р 50571.3–94 [7]);

- защита с помощью *двойной или усиленной изоляции*, при реализации которой основная защита обеспечивается основной рабочей изоляцией опасных токоведущих частей, защита же при наличии неисправности обеспечивается *дополнительной изоляцией*. Или основная защита и защита при наличии неисправности обеспечиваются *усиленной изоляцией* между опасными токоведущими частями и доступными частями (проводящими частями и поверхностями).

Двойная изоляция – относительно новое, но все более широко применяемое эффективное электробезопасное средство, широко использующее достижения химической промышленности в части создания ударопрочных пластмасс с хорошими электроизоляционными характеристиками.

Эти материалы лежат в основе электробезопасных электроприборов и электроинструментов в исполнении «двойная изоляция». Изделия в исполнении «двойная изоляция» маркируются знаком .

5.1. Меры, позволяющие снизить ток через тело человека до безопасного значения

Защита с помощью нетокопроводящей среды – защитная мера, при которой основная защита обеспечивается с помощью основной изоляции между опасными токоведущими частями и открытыми проводящими час-

тиями, при неисправности защита обеспечивается исключительно с помощью нетокопроводящей среды.

Защита с помощью уравнивания потенциалов – защитная мера, при которой основная защита обеспечивается с помощью основной рабочей изоляции между опасными токоведущими частями и открытыми проводящими частями, защита же при наличии неисправности реализуется с помощью *системы уравнивания потенциалов*, препятствующей возникновению опасных напряжений между одновременно доступными открытыми частями электроустановки и сторонними проводящими частями зданий и сооружений.

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках зданий должна соединять между собой следующие проводящие части:

- нулевой защитный *РЕ*- или *PEN*-проводник питающей линии;
- заземляющий проводник защитного заземления на вводе в здание;
- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения (*если трубопровод газоснабжения имеет изолирующую вставку на вводе в дом, к основной системе уравнивания потенциалов присоединяется только та часть трубопровода, которая находится относительно изолирующей вставки со стороны здания*);
- металлические части каркаса здания;
- металлические части систем вентиляции и кондиционирования;
- заземляющее устройство системы совмещенной молниезащиты;
- металлические оболочки телекоммуникационных кабелей.

Проводящие части, входящие в здание извне, должны быть соединены как можно ближе к точке их ввода в здание.

Для соединения с *основной системой* уравнивания потенциалов все вышеуказанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи *отдельных проводников* системы уравнивания потенциалов.

Система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части

строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники, включая защитные проводники штепсельных розеток.

Для уравнивания потенциалов могут быть использованы специально предусмотренные проводники.

Защита с помощью электрического разделения цепей – защитная мера, при которой основная защита обеспечивается с помощью основной изоляции между опасными токоведущими частями и открытыми проводящими частями потребителя электрической энергии, защита в условиях неисправности обеспечивается отделением первичных (источник питания) и вторичных (потребитель) от других цепей и заземления с помощью специального разделительного трансформатора. Такой трансформатор с хорошо изолированными обмотками и ограниченной габаритной мощностью разрывает гальваническую связь между источником энергии и нагрузкой-потребителем.

Защитное электрическое разделение цепей следует применять, как правило, для одной цепи (одного потребителя).

Питание отделяемой цепи должно быть выполнено от разделительного трансформатора, соответствующего ГОСТ 30030–93 «Трансформаторы разделительные и безопасные разделительные трансформаторы».

Токоведущие части цепи, питающейся от разделительного трансформатора, не должны иметь соединений с заземленными частями и защитными проводниками других цепей.

5.2. Защита с помощью системы безопасного сверхнизкого напряжения

По стандарту ГОСТ Р 50571.3–94 (МЭК 364–4–41–89) [7] система безопасного сверхнизкого напряжения (БСНН) – защитная мера, которая предусматривает следующее.

Основная защита осуществляется путем ограничения напряжения в цепи БСНН до сверхнизкого значения отделением цепей системы БСНН от всех других цепей (рис. 5.1).

Дополнительная защита состоит в том, что отделение цепей системы БСНН от других цепей является защитным разделением (см. подразд. 5.1) потребители системы БСНН отделены от земли.

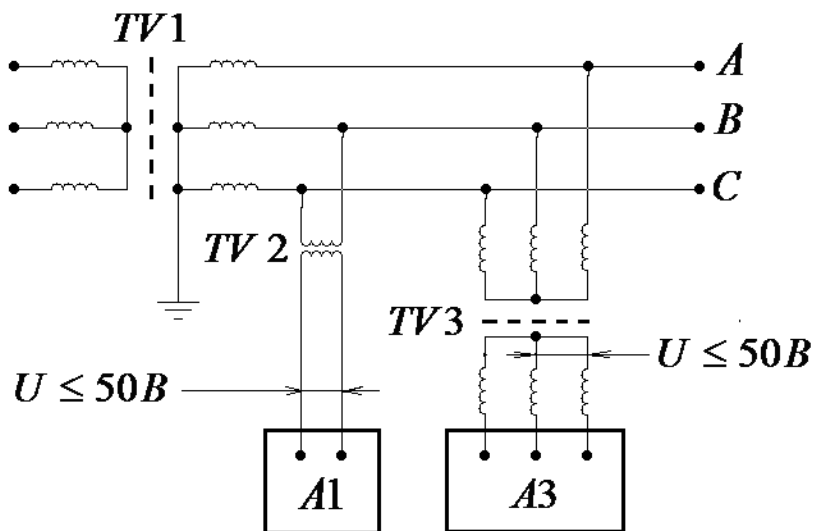


Рис. 5.1. Система БСНН:

TV 2, *TV 3* – разделительные трансформаторы; *A1*, *A3* – однофазный и трехфазный потребители сверхнизкого напряжения

В специальных помещениях, где требуется система БСНН и используется защитное экранирование, защитный экран должен быть отделен от каждой соседней цепи с помощью основной изоляции, рассчитанной на самое высокое из имеющихся напряжений.

Защита с помощью заземленной системы безопасного сверхнизкого напряжения (ЗСНН) – защитная мера, при которой защита обеспечивается за счет ограничения напряжения в цепи, которая может быть заземлена и (или) открытые проводящие части которой могут быть заземлены (система ЗСНН), и защитного отделения системы ЗСНН от всех цепей, помимо БСНН и ЗСНН.

Система ЗСНН (рис. 5.2) – защитная мера, которая предусматривает следующее:

- основная защита осуществляется путем ограничения напряжения в заземленной цепи системы ЗСНН до сверхнизкого значения, разделением цепи системы ЗСНН от всех других цепей;

- дополнительная защита состоит в том, что разделение цепи системы от других цепей является защитным разделением (см. подразд. 5.1). Низкие напряжения переменного тока получают посредством понижающих трансформаторов.

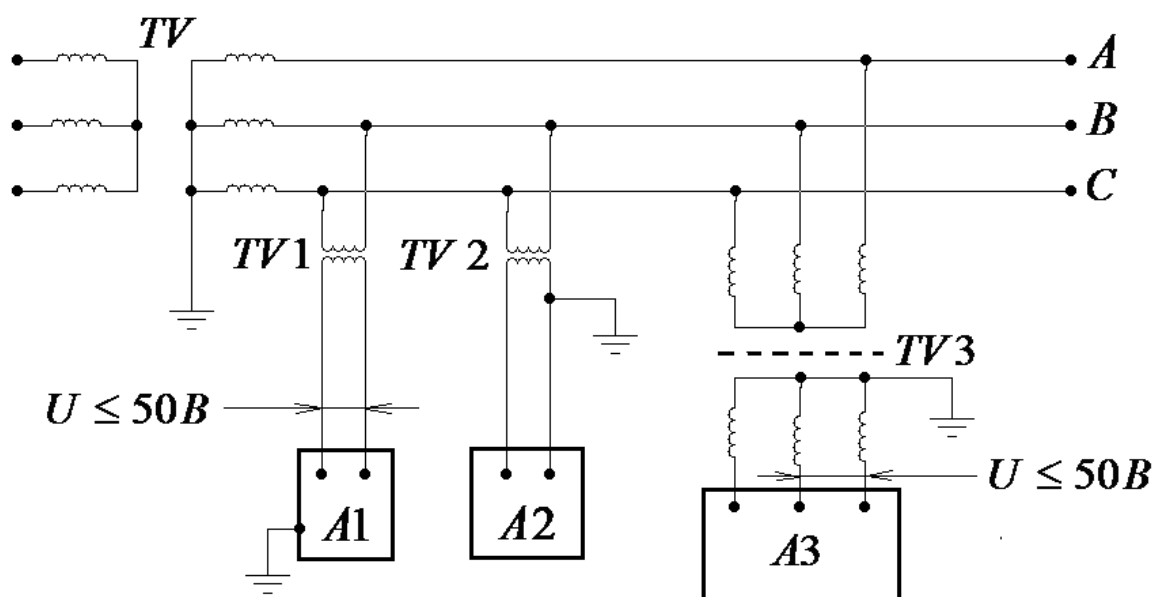


Рис. 5.2. Система ЗСНН (PELV):

$TV\ 1$, $TV\ 2$, $TV\ 3$ – разделительные трансформаторы; $A1$, $A2$ – однофазный и $A3$ трехфазный потребители сверхнизкого напряжения

Применение автотрансформаторов для этой цели **недопустимо**, поскольку автотрансформаторы не имеют гальванической развязки между сторонами высокого и низкого напряжений.

На рис. 5.3 приведена схема автотрансформатора.

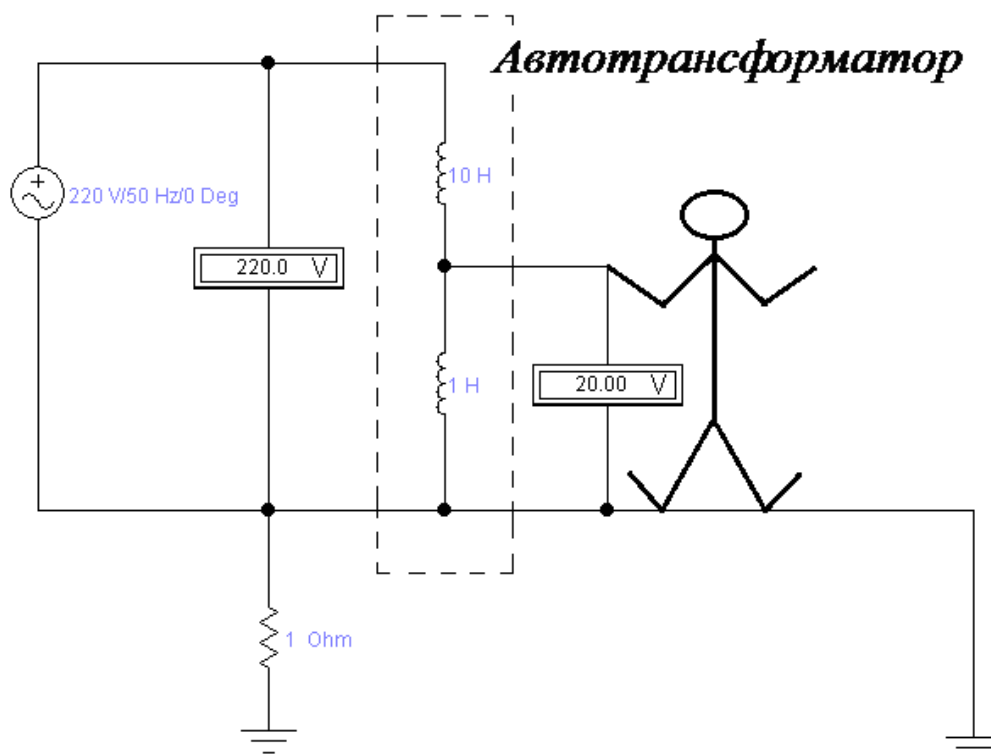


Рис. 5.3. Схема включения человека в цепь автотрансформатора

В специальных отраслях промышленности, там, где опасность поражения человека особенно высока, например, при водолазных работах, в медицинских учреждениях, в детских игрушках применяют сверхнизкие напряжения 9–12 В.

5.3. Условия электробезопасности в *IT*-сетях

Режим работы электрической сети, изолированной от земли (режим изолированной нейтрали, система заземления *IT*), широко применяется в электроустановках, требующих повышенной надежности энергоснабжения, и особо опасных по условиям поражения электрическим током.

IT-сети переменного тока составляют примерно 20 % всех электроустановок.

К таким электроустановкам относятся системы энергоснабжения:

- медицинских учреждений;
- подземных сооружений – шахт, тоннелей, метрополитенов;

- судов (морских, речных), паромов, драг;
- железнодорожных предприятий;
- предприятий горной, нефтедобывающей, сталеплавильной, химической промышленности;
- испытательного, лабораторного, взрывоопасного производства и др.

Надежность электроснабжения достигается за счет сохранения работоспособности *IT*-сетей и в аварийных режимах, в частности, при глухом однофазном замыкании на землю, что крайне важно в экстремальных условиях эксплуатации оборудования, например, в шахте при работе угольного комбайна.

На рис. 5.4 представлен пример прямого прикосновения человека к одной из фаз сети с изолированной нейтралью. Сеть характеризуется сопротивлениями изоляции R_{Φ} и емкостью C_{Φ} каждой фазы относительно земли.

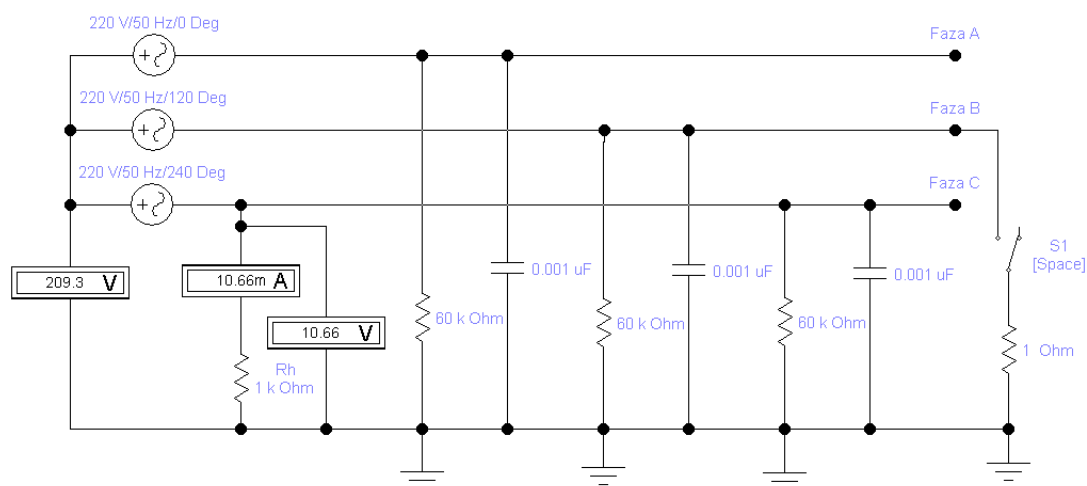


Рис. 5.4. Прямое однополюсное прикосновение человека в *IT*-сети (нормальный режим и аварийный режим)

Ток через тело человека, прикоснувшегося к фазе *A*, в симметричном режиме равен:

$$I_h = (U_{AN'} - U_{N'/N}) / R_h = 10,66 \text{ мА}$$

при $C_{\Phi} \rightarrow 0$.

В случае аварийного режима выключатель $S1$ замкнут, $I_h = 380$ мА и человек попадает под линейное напряжение.

5.4. Защитное заземление

Правила устройства электроустановок определяют следующие виды заземления:

- 1) рабочее (функциональное) заземление – заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (*не в целях электробезопасности*), например, заземление антенных устройств;
- 2) заземление молниезащиты – заземление молниеприёмника с целью защиты объекта от прямого удара молнии;
- 3) защитное заземление – заземление, выполняемое в целях электробезопасности, в этом случае защита обеспечивается снижением (в аварийной ситуации, т. е. при повреждении изоляции и попадании фазного напряжения на металлический корпус электроустановки) до безопасного значения потенциала относительно земли и проводящих нетокведущих частей оборудования (корпуса электроустановки и других частей).

На практике обычно все указанные функции выполняет одно заземляющее устройство.

Заземление используют также для защиты от статического электричества и от импульсных электромагнитных излучений, возникающих при грозовом разряде.

Заземляющее устройство есть совокупность заземлителя (металлической конструкции, расположенной в земле) и заземляющих проводников, соединяющих заземлитель с металлическим корпусом электроустановки.

Заземлитель – это проводник или совокупность проводящих элементов здания (сооружения), находящиеся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Заземляющий проводник – это проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

В качестве заземлителей используются искусственные заземлители, специально выполняемые для целей заземления, и естественные заземли-

тели – электропроводящие конструкции, находящиеся в электрическом контакте с землей и используемые для целей заземления (например, трубопроводы холодной воды, арматура железобетонных фундаментов зданий и сооружений).

Согласно ГОСТ 12.1.009–2009 [1] «защитное заземление есть преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением».

Различают два типа заземляющих устройств.

Выносное (сосредоточенное) – характеризуется тем, что заземлитель его вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, или сосредоточен локально на некоторой части этой площадки.

Контурное (распределенное) – характеризуется тем, что электроды его заземлителя размещены по контуру (периметру) площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, а также внутри этой площадки.

Контурное заземляющее устройство – более сложное в исполнении, но, в отличие от выносного, обеспечивает защиту от шагового напряжения, возникающего вокруг места замыкания фазы на землю, что достигается выравниванием потенциалов внутри контура.

Защитное заземление как основное средство защиты применяется в сетях с изолированной нейтралью до 1 кВ.

Принцип действия защитного заземления основан на перераспределении значений потенциалов в узлах цепи (падений напряжения на ее участках).

Защитное заземление обеспечивает существенное снижение потенциала на корпусе электроустановки в аварийной ситуации относительно земли. Напряжение на корпусе электроустановки в этом случае зависит от сопротивления заземлителя и равно падению напряжения на нем.

На рис. 5.5 приведена схема замещения ИТ-сети, в которой выполнено защитное заземление оборудования, при пробое фазы *C* на корпус и прикосновении к корпусу человека:

а) корпус не заземлен, при этом напряжение прикосновения $U_{пр.} = 148 \text{ В}$ и $I_h = 148 \text{ мА}$;

б) корпус заземлен $R_3 \rightarrow 0$ ($R_3 = 4\text{--}10 \text{ Ом}$) $I_h = 0,84 \text{ мА}$.

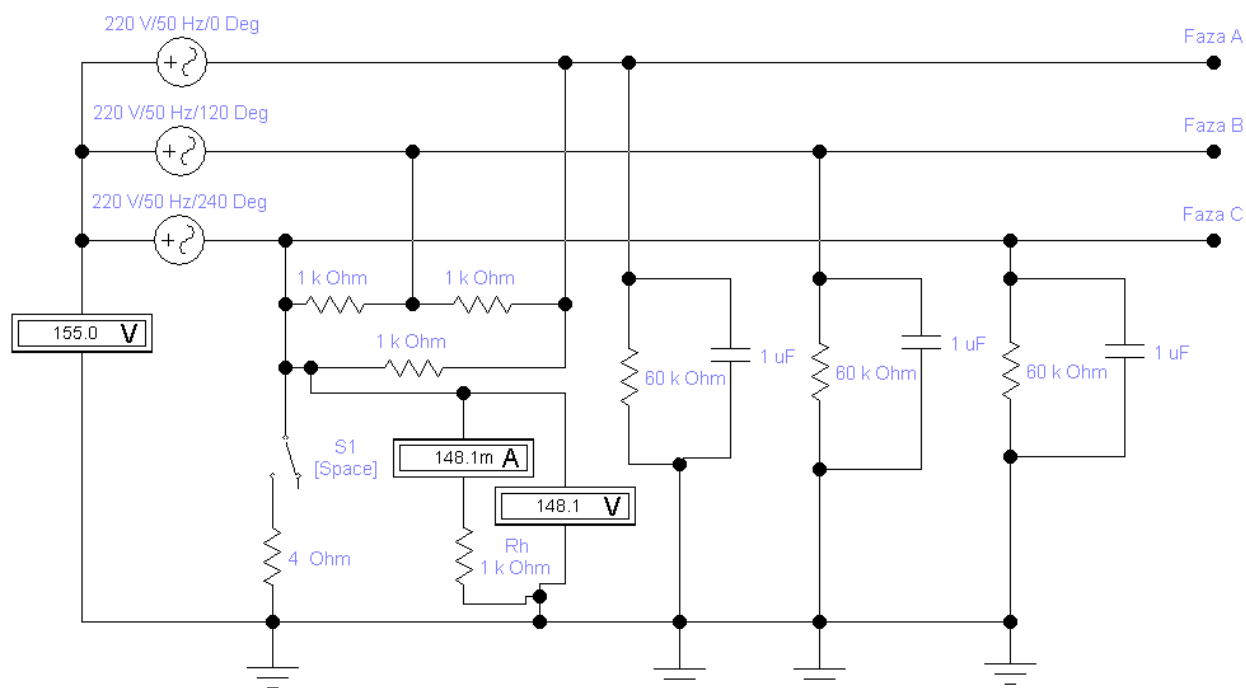


Рис. 5.5. Защитное заземление в сети с изолированной нейтралью

Таким образом, для обеспечения безопасных условий для человека в сети с изолированной нейтралью следует уменьшать сопротивление заземления.

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) защитное заземление применяется:

- при напряжении до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью;
- при напряжении выше 1 кВ (6, 10, 35 кВ) при любом режиме нейтрали.

5.5. Стеkanie тока в землю с заземлителя в аварийной ситуации

Стеkanie тока в землю происходит через проводник, находящийся в непосредственном контакте с землей. Такой контакт может быть случайным, например, обрыв и падение на землю проводника воздушной линии электропередачи, или преднамеренным. В последнем случае проводник, находящийся в контакте с землей, называется заземлителем.

Распределение потенциалов на поверхности земли происходит по кривой, близкой к гиперболе. В объеме земли ток растекается во всех направлениях, возникает поле растекания тока.

В реальных условиях на расстоянии 10–15 м от заземлителя сечение слоя земли, по которому проходит ток, оказывается столь большим, что плотность тока близка к нулю и потенциал не превышает 0,5 % потенциала заземлителя. Следовательно, можно считать поле растекания распространяющимся лишь на расстояние 10 м от заземлителя.

Для определения закона распределения потенциалов вокруг заземлителя рассмотрим шаровой заземлитель радиусом r , находящийся в земле на бесконечно большой глубине (достаточно глубоко, чтобы можно было пренебречь влиянием поверхности земли). Предполагается, что через этот шар в землю стекает ток замыкания I_3 (рис. 5.6).

При условии однородности структуры земли, ток в земле будет растекаться от шара равномерно и симметрично во все стороны (по радиальным направлениям). Возникает поле растекания тока, которое можно рассматривать как стационарное электрическое поле, напряженность E которого связана с плотностью тока δ соотношением $\delta = E / \rho$.

Плотность тока в земле будет убывать по мере удаления от заземлителя.

На расстоянии x от центра шара плотность тока δ будет равна:

$$\delta = \frac{I_3}{4\pi x^2},$$

где $4\pi x$ – площадь сферы на расстоянии x от заземлителя.

При этом линии напряженности электрического поля совпадают с линиями плотности тока, которые в рассматриваемом случае совпадают также с радиусами шарового заземлителя. Напряженность электрического поля равна падению напряжения, отнесенного к единице длины линии напряженности поля:

$$E = \frac{dU}{dx},$$

где dU – падение напряжения на участке dx , т. е. в элементарном слое земли толщиной dx (см. рис. 5.6).

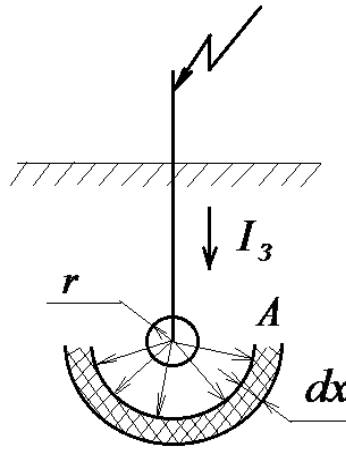


Рис. 5.6. Шаровой заземлитель, погруженный в землю на большую глубину

Потенциал любой точки в объеме земли, например, точки A , равен падению напряжения в грунте на участке от x до бесконечности, т. е.

$$\varphi = \int_x^{\infty} dU; \quad dU = E dx = \delta \rho dx = \frac{I_3 \rho}{4\pi x^2} dx.$$

Из данного интеграла вытекает уравнение для потенциала любой отдаленной точки x , т. е. уравнение потенциальной кривой:

$$\varphi = \varphi_x = \frac{I_3 \rho}{4\pi x}. \quad (5.1)$$

Потенциал, равный нулю, будет в точке, отстоящей от заземлителя на бесконечно большое расстояние x .

Максимальный потенциал будет при наименьшем значении x , равном радиусу заземлителя, т. е. непосредственно на заземлителе:

$$\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{4\pi r}. \quad (5.2)$$

Шаровой заземлитель на поверхности земли, т. е. заглубленный так, что его центр находится на уровне земли (рис. 5.7), называется полушаровым заземлителем. На практике он обычно не применяется, однако на его примере удобно рассмотреть процессы возникновения и распределения потенциалов на поверхности земли.

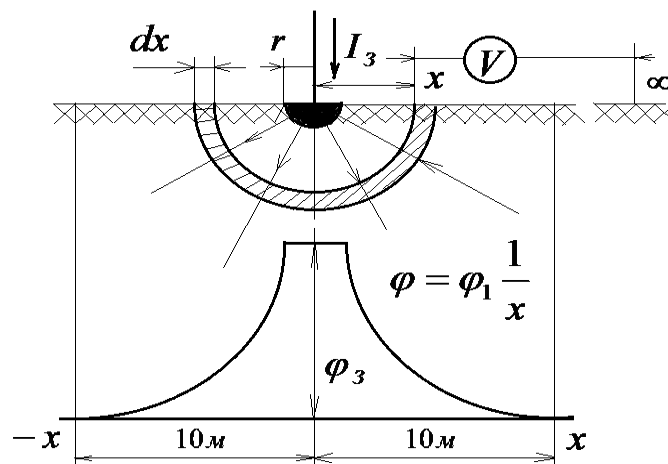


Рис. 5.7. Распределение потенциала на поверхности земли вокруг полушарового заземлителя ($\varphi_1 = \varphi_3$)

Для такого заземлителя уравнение потенциальной кривой, показывающей изменение потенциалов на поверхности земли, имеет вид:

$$\varphi = \frac{I_z \rho}{2\pi x}. \quad (5.3)$$

Если разделить выражение (5.2) на выражение (5.3) и обозначить произведение постоянных φ_3 и r через n , то полученное выражение есть уравнение равносторонней гиперболы:

$$\varphi = n \frac{1}{x}.$$

Следовательно, потенциал на поверхности земли вокруг полушарового заземлителя изменяется по закону гиперболы, уменьшаясь от максимального значения φ_3 до нуля по мере удаления от заземлителя (см. рис. 5.7).

В реальных условиях, при неоднородном грунте, потенциал при удалении от заземлителя изменяется не по гиперболе, а по какому-либо другому закону.

Напряжение шага $U_{\text{ш}}$ есть напряжение между двумя точками поверхности земли, находящимися одна от другой на расстоянии шага, которых одновременно касаются ноги человека при ходьбе.

Определение шагового напряжения приведено в «Правилах устройства электроустановок» (далее – «Правила») [15], п. 1.7.25: «напряжение между двумя точками на поверхности земли, на расстоянии 1 м одна от другой, которое принимается равным длине шага человека».

Ток через тело человека I_h , попавшего под напряжение шага, проходит по пути «нога – нога» и определяется по формуле

$$I_h = U_{\text{ш}} / R_h,$$

где R_h – сопротивление тела человека.

Значение напряжения шага зависит от расстояния до заземлителя, а, следовательно, от крутизны потенциальной кривой в данной точке. Максимальные значения $U_{\text{ш}}$ имеют место при наименьшем расстоянии от заземлителя, т. е. когда человек одной ногой стоит непосредственно на заземлителе, а другой – на расстоянии шага от него.

Наименьшие значения $U_{\text{ш}}$ проявляют себя при бесконечно большом удалении от заземлителя, т. е. практически за пределами поля растекания тока. В этом случае потенциалы двух точек земли, в которых находятся ноги человека, одинаковы, а значит, напряжение шага будет равно нулю. Рис. 5.8 иллюстрирует эти две ситуации.

«Напряжение прикосновения: напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека или животного» (п. 1.7.24 «Правил» [15]).

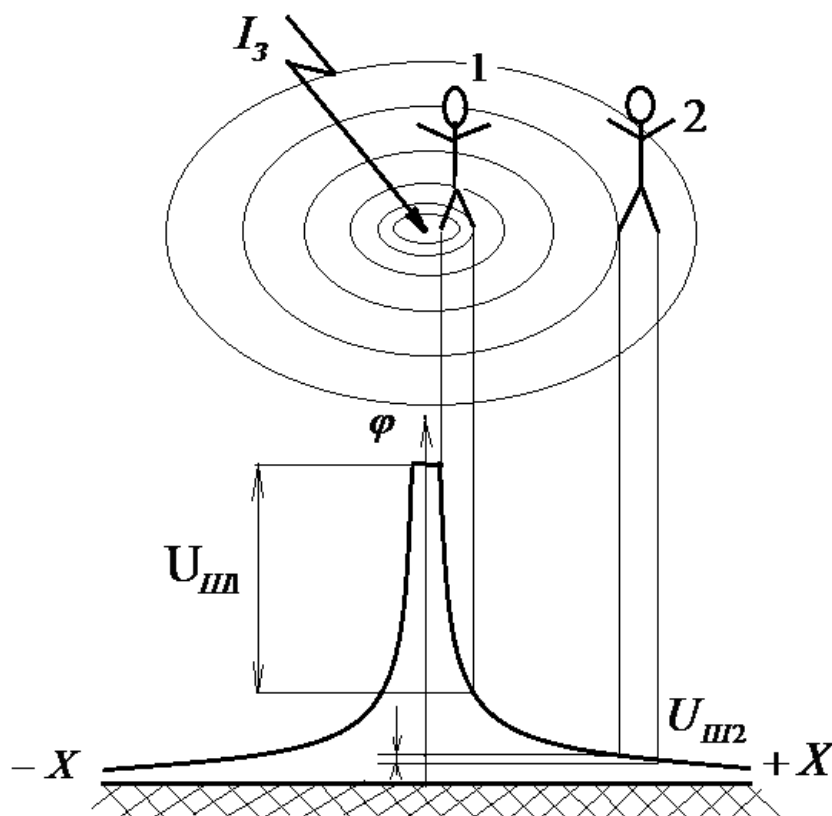


Рис. 5.8. Эквипотенциальные линии на поверхности земли при растекании тока замыкания на землю на одиночный заземлитель и напряжения, приложенные к разным ногам идущего человека

Значение напряжения прикосновения определяется расстоянием от места, в котором находится человек (ногами касается земли, а руками – заземленного оборудования), до заземлителя. Чем больше расстояние до заземлителя, тем выше напряжение прикосновения. Ток через тело человека в этом случае протекает по пути «рука – ноги».

При бесконечно большом расстоянии, а практически – при расстоянии, большем 10 метров, напряжение прикосновения имеет наибольшее значение и равно потенциалу заземлителя $U_{пр.} = \varphi_3$.

Это наиболее опасный случай прикосновения. При минимальном расстоянии, в случае, если человек стоит непосредственно на заземлителе, напряжение прикосновения равно нулю $U_{пр.} = 0$.

Типичной является ситуация, когда человек может попасть под большое напряжение прикосновения, прикоснувшись к выносным металличе-

ским конструкциям, удаленным от точки заземления, но связанным с заземленным электрооборудованием (когда в результате повреждения изоляции фазное напряжение оказывается на его корпусе). Известны различные конструкции заземлителей.

5.6. Выравнивание и уравнивание потенциалов

Выравнивание потенциалов есть метод снижения напряжения прикосновения и шага между точками электрической цепи, к которым возможно одновременное прикосновение или на которых может одновременно стоять человек.

В правилах устройства электроустановок [15] четко определена разница между понятиями «уравнивание» и «выравнивание» потенциалов.

«Уравнивание потенциалов – электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов.

Защитное уравнивание потенциалов – уравнивание потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности» (п. 1.7.32 «Правил» [15]).

«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» (п. 1.7.33 «Правил» [15]).

На рис. 5.9 показан вариант заземления с помощью заземлителя в виде сетки с вертикальными электродами и потенциальные кривые в области выравнивания потенциалов. Такой заземлитель обеспечивает защиту человека в защищаемой зоне, обеспечивая снижение напряжения шага до допустимого значения за счет уменьшения размеров ячейки сетки.

Важное значение для обеспечения условий электробезопасности в конкретной электроустановке имеет выполнение системы уравнивания потенциалов.

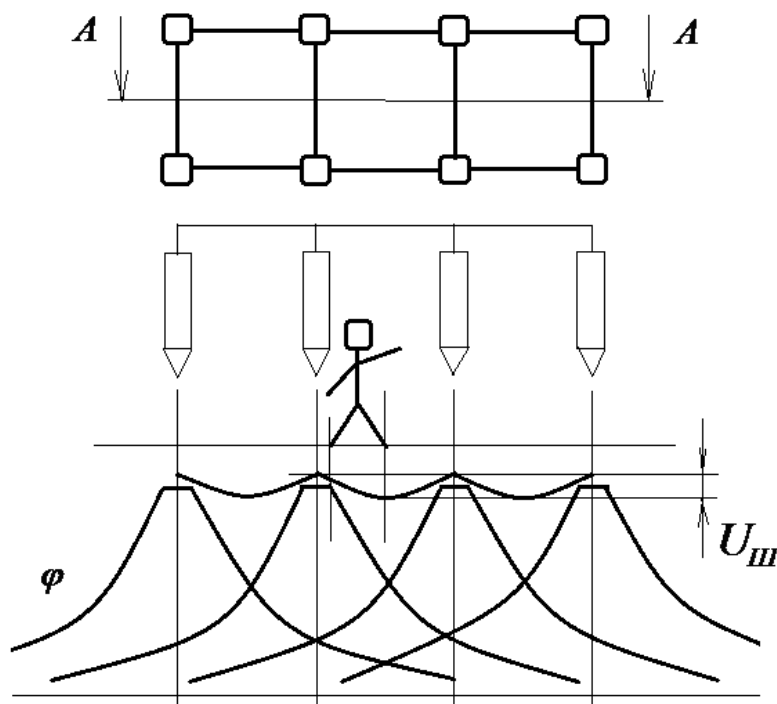


Рис. 5.9. Система выравнивания потенциалов

Уравнивание потенциалов

Правила выполнения системы уравнивания потенциалов определены стандартом ГОСТ Р 50571.3–94 (МЭК 364–4–41–92) [7] и пп. 1.7.82, 1.7.83, 7.1.87, 7.1.88 ПУЭ (7-е изд.) [15]. Эти правила предусматривают подсоединение всех подлежащих заземлению проводников к общей шине.

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках зданий должна соединять между собой следующие проводящие части:

- нулевой защитный *РЕ*- или *PEN*-проводник питающей линии;
- заземляющий проводник защитного заземления на вводе в здание;
- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т. п. (если трубопровод газоснабжения имеет изолирующую вставку на вводе в дом, к основной системе уравнивания потенциалов присоединяется только та часть трубопровода, которая находится относительно изолирующей вставки со стороны здания);
- металлические части каркаса здания;

- металлические части систем вентиляции и кондиционирования;
- заземляющее устройство системы совмещенной молниезащиты;
- металлические оболочки телекоммуникационных кабелей.

Проводящие части, входящие в здание извне, должны быть соединены как можно ближе к точке их ввода в здание.

Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все вышеуказанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи отдельных проводников системы уравнивания потенциалов.

Система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники, включая защитные проводники штепсельных розеток.

Для уравнивания потенциалов могут быть использованы специально предусмотренные проводники.

Правила предусматривают подсоединение всех подлежащих заземлению проводников к общей шине. Такая конструкция заземления обеспечивает уравнивание потенциалов всех элементов электроустановки, которые должны быть заземлены.

Система уравнивания потенциалов позволяет избежать протекания различных непредсказуемых уравнивающих токов в системе заземления, вызывающих возникновение разности потенциалов на отдельных элементах электроустановки.

Так, все металлические конструкции, имеющиеся в жилом доме и подлежащие заземлению, с помощью проводников подсоединены к главной заземляющей шине. К этой же шине подсоединены естественный заземлитель здания и заземлитель молниезащиты. Следовательно, за счет электрического соединения всех металлических конструкций на них обеспечивается один и тот же потенциал.

6. МЕРЫ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

6.1. Защитное зануление

Защита человека от поражения электрическим током путем ограничения длительности его воздействия на человека может быть осуществлена устройствами автоматического отключения источника питания.

Защита с помощью автоматического отключения источника питания – защитная мера, при которой основная защита обеспечивается конструктивной изоляцией между опасными токоведущими частями и открытыми проводящими частями, защита же в условиях неисправности обеспечивается автоматическим отключением напряжения. На практике данная защита реализуется защитным занулением и защитным отключением.

Защитное зануление как защитная мера применяется в сетях с глухозаземленной нейтралью до 1кВ.

Защитное зануление есть «преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, выполняемое в целях электробезопасности» (п. 1.7.31 «Правил» [15]).

Проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока или ее эквивалентом называется нулевым проводником.

Целью зануления является устранение опасности поражения человека (персонала) при повреждении изоляции – замыкании на корпус оборудования одной из фаз сети. Заявленная цель достигается в результате **быстрого отключения** максимальной токовой защитой участка сети, на котором произошло повреждение изоляции.

Благодаря присоединению к нулевому проводу, а, следовательно, к нейтрали источника, всех нетоковедущих проводящих частей оборудо-

вания, однофазное замыкание на корпус превращается в однофазное короткое замыкание (КЗ), вызывающее срабатывание максимальной токовой защиты (плавких вставок или автоматических выключателей). На рис. 6.1 приведена схема зануления металлических корпусов электрооборудования для трехфазной четырехпроводной сети переменного тока. По такой схеме выполнены наиболее распространенные сети напряжением 380/220 В.

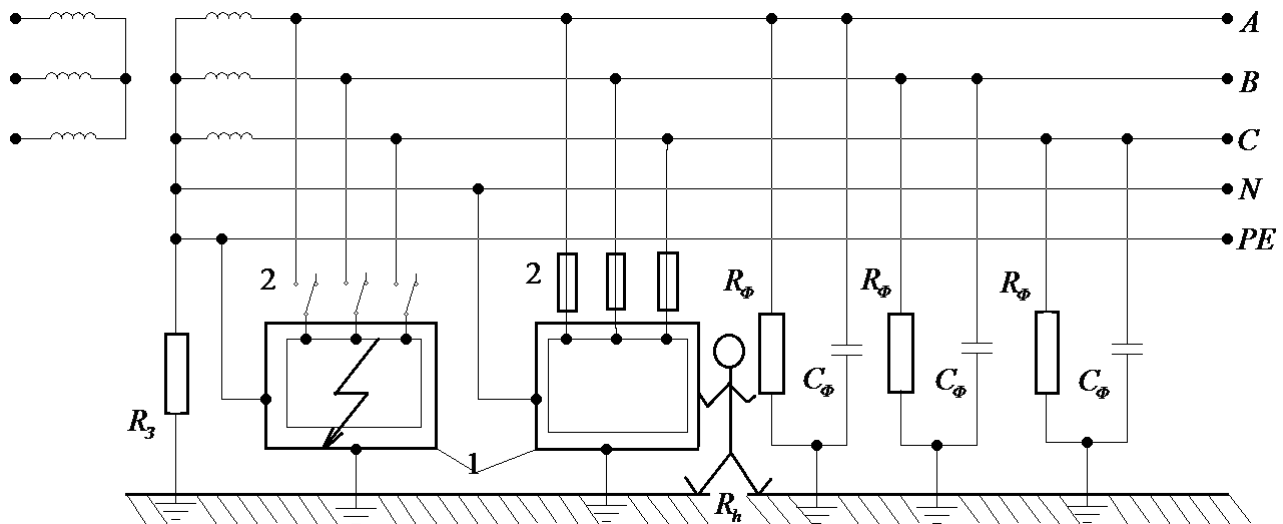


Рис. 6.1. Принципиальная схема защитного зануления в системе $TN-S$

Условные обозначения на схеме (рис. 6.1):

1 – корпуса электроустановки (электродвигатель, трансформатор и т. п.);

2 – аппараты защиты от токов КЗ (предохранители и автоматические выключатели);

R_3 – сопротивление заземления нейтрали обмотки источника тока;

R_h – сопротивление тела человека.

Принцип действия зануления. При замыкании фазного проводника на зануленный корпус электропотребителя (рис. 6.1) образуется цепь тока однофазного короткого замыкания (т. е. замыкания между фазным и нулевым защитным проводниками).

Ток однофазного короткого замыкания вызывает срабатывание максимальной токовой защиты, в результате чего происходит отключение поврежденной электроустановки от питающей сети. Кроме того, до срабаты-

вания максимальной токовой защиты происходит снижение напряжения поврежденного корпуса относительно земли, что связано с защитным действием повторного заземления нулевого защитного проводника и перераспределением напряжений в сети при протекании тока короткого замыкания.

Следовательно, **защитное зануление** обеспечивает защиту от поражения электрическим током при замыкании на корпус за счет ограничения времени прохождения тока через тело человека и за счет снижения напряжения прикосновения.

В качестве максимальной токовой защиты, обеспечивающей быстрое отключение электроустановки в аварийном режиме, могут использоваться плавкие предохранители и автоматические выключатели, устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания.

Назначение нулевого защитного проводника в схеме зануления – обеспечить необходимое для отключения установки значение тока однофазного короткого замыкания путем создания для этого тока цепи с малым сопротивлением.

Повторное заземление нулевого защитного проводника практически не влияет на время отключения электроустановки от сети. Однако при эксплуатации зануления могут возникнуть такие ситуации, когда повторное заземление нулевого защитного проводника необходимо, например, при обрыве нулевого защитного проводника. При применении системы *TN* рекомендуется выполнять повторное заземление *PE* и *PEN*-проводников на вводе в электроустановки зданий, а также в других доступных местах.

Для повторного заземления нулевых защитных проводников следует в первую очередь использовать естественные заземлители.

В нулевом защитном проводнике **запрещается ставить выключатели, предохранители и другие приборы, сопротивление которых превышает 0,1 Ом**. Присоединение должно быть доступно для осмотра.

Нулевые защитные провода и открыто проложенные нулевые защитные проводники должны иметь отличительную окраску: по зеленому фону желтые полосы.

Расчет зануления имеет целью определить условия, при которых оно надежно выполняет возложенные на него задачи – быстро отключает по-

врежденную установку от сети и в то же время обеспечивает безопасность прикосновения человека к зануленному корпусу в аварийный период. В соответствии с этим зануление рассчитывают на отключающую способность.

В системе TN , согласно «Правилам» [15], п. 1.7.79, время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Наибольшее допустимое время защитного
автоматического отключения питания

Номинальное фазное напряжение U , В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

Приведенные в таблице значения времени отключения питания считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе и в групповых цепях, питающих передвижные и переносные электроприемники и ручной электроинструмент класса I. В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и другие щиты и щитки, время отключения не должно превышать 5 с.

Полное сопротивление защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком не превышает значения, Ом

$$50 \frac{Z_{Ц}}{U_{\Phi}},$$

где $Z_{Ц}$ – полное сопротивление цепи «фаза – ноль», Ом;

U_{Φ} – номинальное фазное напряжение сети, В;

50 – падение напряжения на участке защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком, В.

Расчет зануления на отключающую способность заключается в определении параметров нулевого защитного проводника (длина, сечение, материал) и максимальной токовой защиты, при которых ток однофазного короткого замыкания, возникающий при замыкании фазного провода на зануленный корпус, вызвал бы срабатывание максимальной токовой защиты за время, указанное в таблице. Измерение сопротивления петли «фаза – ноль» и токов коротких фазных замыканий проводится для определения времени срабатывания защитных устройств.

Сопротивление петли «фаза – ноль» необходимо для расчета тока КЗ. От значения этого сопротивления зависит время срабатывания аппарата защиты. В качестве аппаратов защиты обычно применяются автоматические выключатели или предохранители (плавкие вставки). Время срабатывания автомата должно удовлетворять требованиям ПУЭ (см. табл. 6.1).

Сопротивление петли «фаза – ноль» определяется длиной, сечением проводников, способом соединения участков, качеством прокладки линии, количеством болтовых соединений.

Для измерения сопротивления петли «фаза – ноль» системы TN существует несколько различных методов. Один из них основан на измерении сопротивления петли «фаза – ноль» способом измерения падения напряжения на резисторе (схема на рис. 6.2).

Напряжение в испытуемой цепи измеряют с включенным и отключенным сопротивлением нагрузки R и сопротивление петли «фаза – ноль» рассчитывают по формуле

$$Z = \frac{U_1 - U_2}{I_R} = \frac{220 - 217,9}{2,179} = 0,963 \text{ Ом},$$

где Z – полное сопротивление петли «фаза – ноль», Ом;

U_1 – напряжение, измеренное при отключенном сопротивлении нагрузки, В;

U_2 – напряжение, измеренное при включенном сопротивлении нагрузки, В;

I_R – ток, протекающий через сопротивление нагрузки, А.

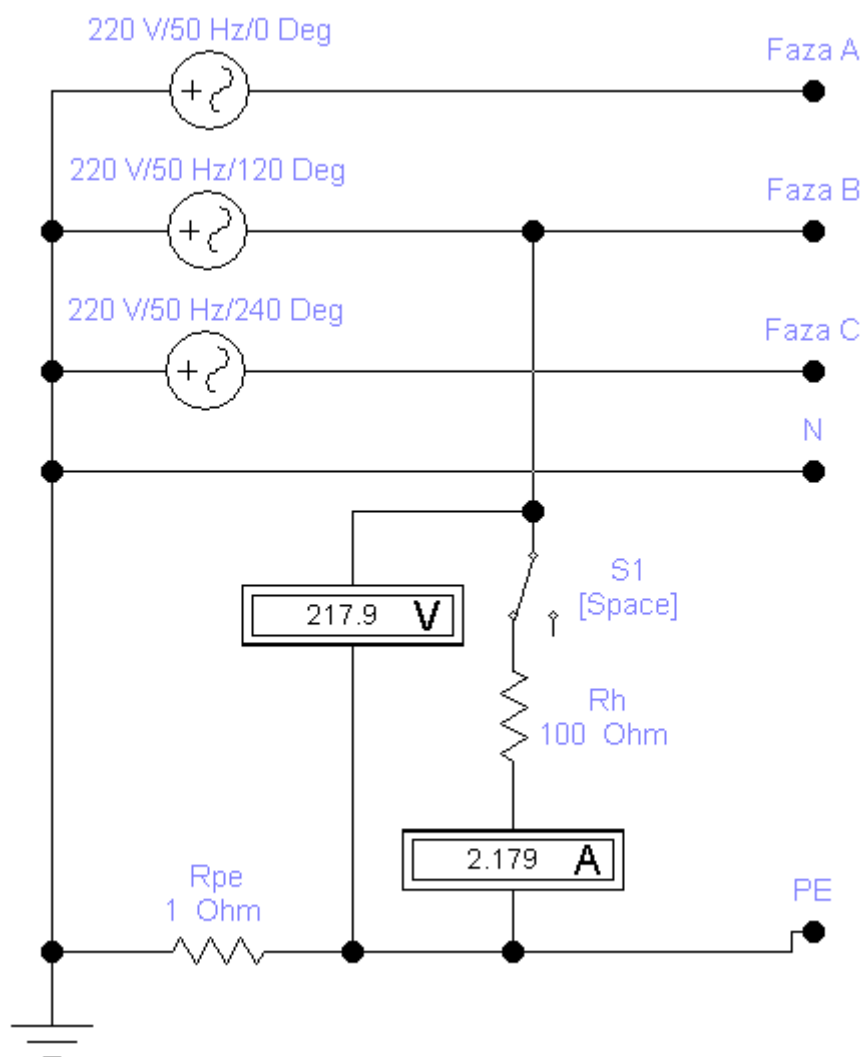


Рис. 6.2. Схема измерения сопротивления петли «фаза – ноль»

Метод измерения падения напряжения на нагрузочном сопротивлении рекомендован приложением D1 стандарта [7].

Существует ряд стандартных приборов для измерения сопротивления петли «фаза – ноль» различных производителей.

6.2. Контроль изоляции, обнаружение повреждений

Как было показано выше, в электрических сетях и электроустановках, изолированных от земли, условия электробезопасности и надежности энергоснабжения в значительной мере определяются состоянием изоляции, ее сопротивлением и емкостью фазных проводов относительно земли.

Для обеспечения требуемого уровня сопротивления изоляции в электрической сети или конкретной электроустановке правила предписывают ведение непрерывного автоматического контроля (мониторинга) сопротивления изоляции, осуществляемого устройствами контроля изоляции.

В главе 1.6 «Правил» [15] применение устройств контроля изоляции регламентируется п. 1.6.12: «в сетях переменного тока выше 1 кВ с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью, в сетях переменного тока до 1 кВ с изолированной нейтралью и в сетях постоянного тока с изолированными полюсами или с изолированной средней точкой, как правило, должен выполняться автоматический контроль изоляции, действующий на сигнал при снижении сопротивления изоляции одной из фаз (или полюса) ниже заданного значения, с последующим контролем асимметрии напряжения при помощи показывающего прибора (с переключением)».

В «Правилах» [15] (п. 1.7.165) предписывается обязательное применение контроля изоляции в передвижных электроустановках:

«Автономные передвижные источники питания с изолированной нейтралью должны иметь устройство непрерывного контроля сопротивления изоляции относительно корпуса (земли) со световым и звуковым сигналами. Должна быть обеспечена возможность проверки исправности устройства контроля изоляции и его отключения».

Функции устройства контроля изоляции заключаются в измерении сопротивления изоляции сетей *под рабочим напряжением и при включенных токоприемниках*, оценке результатов измерения путем сравнения с контрольным уровнем (уставкой), задаваемым, как правило, по условиям электробезопасности, и, в случае необходимости, включении сигнализации или воздействии на отключающий аппарат.

Таким образом, устройство контроля изоляции осуществляет «защиту человека изоляцией цепей электроустановки» путем ведения непрерывного измерения сопротивления изоляции с целью поддержания его значения на уровне, обеспечивающем условия электробезопасности.

Вышеизложенное означает, что контроль изоляции является, необходимым, но не достаточным условием обеспечения условий электробезопасности.

Достаточными условиями могут быть: поддержание сопротивления изоляции на уровне выше критического, защитное отключение и т. п.

По назначению устройства контроля изоляции можно разделить на группы:

А – устройства автоматического (непрерывного) контроля сопротивления изоляции сети или установки относительно земли;

Б – инспекторские приборы для периодических контрольных измерений сопротивления изоляции в рабочем режиме сети;

В – устройства селективного обнаружения в разветвленных электрических сетях присоединения (фидера) с пониженным сопротивлением изоляции.

В настоящее время в России и за рубежом выпускаются устройства контроля изоляции, отличающиеся друг от друга принципом действия, конструктивными решениями, областью применения, надежностью работы.

Прибор АСТРО-ИЗО-470 предназначен для ведения непрерывного автоматического контроля (мониторинга) сопротивления изоляции относительно земли одно- и трехфазных электроустановок с системой заземления типа *IT* (режим изолированной нейтрали) и имеет высокие технические параметры (табл. 6.2 в сокращенном варианте, [20]).

Таблица 6.2

Технические параметры прибора АСТРО-ИЗО-470 [20]

№ п/п	Наименование	Номинальное значение
1	Напряжение контролируемой сети, В	0–500
2	Частота контролируемой сети, Гц	10–1 000
3	Напряжение питания, В	176–274
4	Напряжение оперативного тока, В	15
5	Оперативный ток, не более, мА	0,1
6	Внутреннее сопротивление (полное, 50 Гц), кОм	< 250
7	Время срабатываний (при емкости контролируемой сети не более 1 мкФ), с	0,7–1,3
8	Максимально допустимая емкость контролируемой, мкФ	20

АСТРО-ИЗО-470 выполняет следующие функции:

- наложение на контролируемую сеть оперативного тока;
- непрерывное измерение текущего значения оперативного тока;
- обработка результатов измерения электронным устройством на базе микропроцессора и сопоставление их с задаваемой уставкой;
- индикация значения сопротивления изоляции относительно земли контролируемой электроустановки;
- включение сигнала тревоги в случае снижения сопротивления изоляции ниже заданного значения (уставки).

6.3. Защитное отключение

Назначение устройств защитного отключения. Устройство защитного отключения (УЗО) на дифференциальном токе – современное, высокоэффективное, во многих случаях безальтернативное средство защиты человека от поражения электрическим током. УЗО также осуществляют защиту электроустановок от возгораний и пожаров, возникающих вследствие протекания токов утечки и, кроме того, вследствие электрической дуги из-за образования проводящих мостиков.

Наряду с устройствами защиты от сверхтока, УЗО относятся к дополнительным видам защиты человека от поражения электрическим током, обеспечиваемой путем автоматического отключения питания.

Автоматическое отключение питания в варианте зануления корпуса электроустановки обеспечивает защиту человека при косвенном прикосновении – путем отключения автоматическими выключателями или предохранителями (плавкими вставками), изначально предназначенными для защиты оборудования, поврежденного участка цепи при замыкании на корпус.

При малых токах короткого замыкания и большом сопротивлении петли «фаза – ноль», а также при обрыве нулевого проводника зануление действует недостаточно эффективно, поэтому в этих случаях УЗО является единственным средством защиты человека от электропоражения.

В основе действия защитного отключения как электрозащитного средства лежит принцип ограничения (за счет быстрого отключения) про-

должительности протекания тока через тело человека при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок (прямом прикосновении) или при прикосновении к проводящим нетоковедущим элементам оборудования, оказавшимся под опасным потенциалом при повреждении изоляции (косвенном прикосновении).

Из всех известных электрозащитных средств УЗО является единственным, обеспечивающим защиту человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении к одной из токоведущих частей.

Другим не менее важным свойством УЗО является его способность осуществлять защиту от возгораний и пожаров, возникающих на объектах вследствие возможных повреждений изоляции, неисправностей электропроводки и электрооборудования.

Поскольку КЗ, как правило, развиваются из дефектов изоляции, замыканий на землю, утечек тока на землю, УЗО, реагируя на ток утечки на землю или защитный проводник, заблаговременно, до развития в короткое замыкание, отключает электроустановку от источника питания, предотвращая тем самым недопустимый нагрев проводников, искрение, возникновение дуги и возможное последующее возгорание.

В отдельных случаях энергии, выделяемой в месте повреждения изоляции при протекании токов утечки, достаточно для возникновения очага возгорания и, как следствие, пожара.

По данным различных отечественных и зарубежных источников, локальное возгорание изоляции может быть вызвано довольно незначительной мощностью, выделяемой в месте утечки.

В зависимости от материала и срока службы изоляции эта мощность составляет всего 40–60 Вт. Это означает, что своевременное срабатывание УЗО противопожарного назначения с уставкой 300 мА предупредит выделение указанной мощности, и, следовательно, не допустит возгорания.

Многочисленные статистические данные свидетельствуют о высокой эффективности УЗО как электрозащитного мероприятия: начиная с середины 70-х гг. XX в., в европейских странах, США, Японии отмечено резкое снижение электротравматизма.

6.4. Принцип действия устройства защитного отключения

Функционально УЗО можно определить как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на разницу токов (дифференциальный ток) в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке.

Принцип действия УЗО дифференциального типа основан на применении электромагнитного векторного сумматора токов – дифференциального трансформатора тока.

Сравнение текущих значений двух токов и более (в четырехполюсных УЗО – четырех) по амплитуде и фазе наиболее эффективно, т. е. с минимальной погрешностью, осуществляется электромагнитным путем – с помощью дифференциального трансформатора тока (рис. 6.3).

Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор.

Суммарный магнитный поток в сердечнике Φ_{Σ} , пропорциональный разности токов в проводниках, являющихся первичными обмотками трансформатора, I_1 и I_2 (показаны на рис. 6.3), наводит во вторичной обмотке трансформатора тока соответствующую ЭДС, под действием которой в цепи вторичной обмотки протекает ток $i_{\Delta BT}$, также пропорциональный разности токов в первичных обмотках.

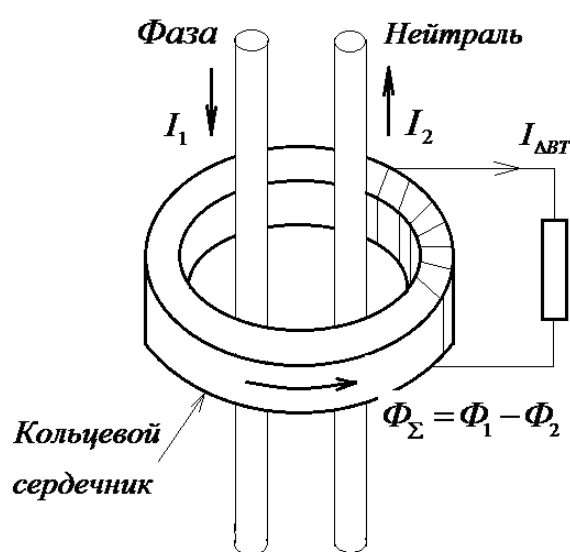


Рис. 6.3. Дифференциальный трансформатор тока

В нормальном режиме, при отсутствии дифференциального тока – тока утечки, в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно трансформатора тока, протекает рабочий ток нагрузки. Проводники, проходящие сквозь окно магнитопровода, образуют встречно включенные первичные обмотки дифференциального трансформатора тока.

Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке как I_1 , а от нагрузки I_2 , то справедливо равенство

$$I_1 = I_2.$$

Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но встречно направленные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 .

Результирующий магнитный поток Φ_Σ равен нулю, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю.

При возникновении утечки ток a , вызванной, например, пробоем изоляции на корпус электроприемника или непреднамеренным прикосновением человека к открытым проводящим частям, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток ток утечки $I_{ут}$, являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным) – I_Δ .

В данном случае $I_{ут} = I_\Delta$.

Неравенство токов в первичных обмотках $I_1 + I_\Delta$ (в фазном проводнике и I_2 , равный I_1 , в нулевом рабочем проводнике), вызывает небаланс магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока $I_{\Delta BT}$.

Если ток $I_{\Delta BT}$ превышает значение уставки порогового элемента, последний срабатывает и воздействует на отключающий исполнительный механизм.

Исполнительный механизм, состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов (в частном случае), замыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

Электрическая модель, поясняющая принцип действия УЗО, представлена на рис. 6.4.

Здесь дифференциальный трансформатор собран из двух идентичных линейных трансформаторов (Dif Tr1.1 и DifTr1.2), вторичные обмотки которых включены встречно. Вольтметр U_S показывает напряжение, которое возникает на измерительной обмотке дифференциального трансформатора в зависимости от состояния нагрузки устройства. Амперметры I_g и I_n показывают ток генератора и нагрузки R_n . Выключатель $S1$ подключает контрольный резистор R_{test} . Когда $S1$ замкнут, что соответствует утечке вследствие порчи изоляции или прикосновению человека к фазному проводу, напряжение $U_S = 52,2$ В, что вполне достаточно для привода в действие контактной группы, обесточивающей электрическую цепь. Когда $S1$ разомкнут, в дифференциальном трансформаторе магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 взаимно компенсированы и $U_S = 0,066$ μ В.

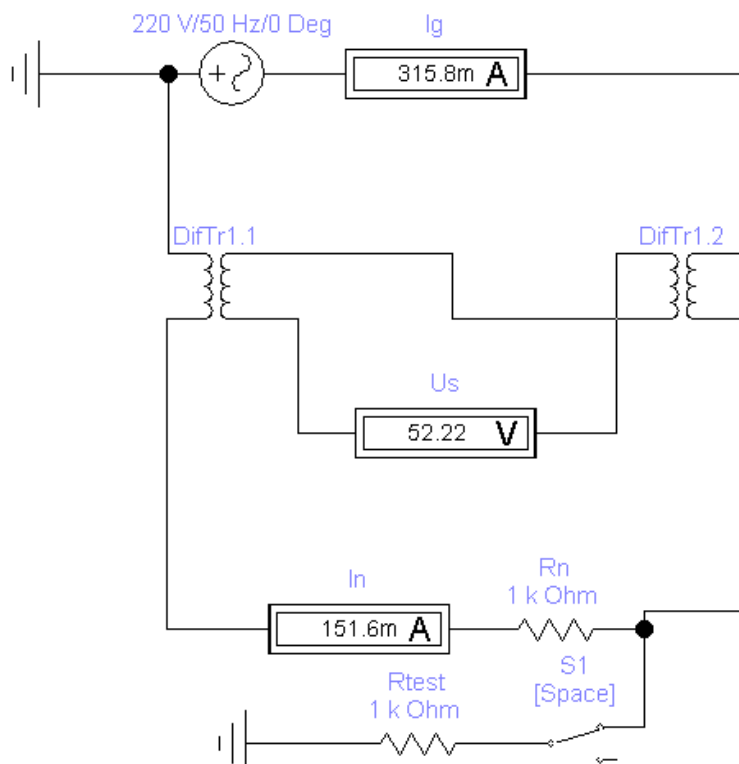


Рис. 6.4. Схема, иллюстрирующая принцип действия УЗО

В нашей стране прижилось жаргонное название УЗО – «дифференциальный автомат».

Первоначально все УЗО предназначались для защиты человека от электропоражения в сетях переменного тока и, соответственно, реагировали только на переменный дифференциальный ток.

Разработка и производство новых типов стали необходимы по причине изменения в последние годы характера электрической нагрузки. Появилось множество компьютеров, во много раз увеличилось количество телевизоров, многократно возросло число бытовой и офисной техники, электроинструмента и т. д.

Указанные электроприборы характеризуются тем, что их блоки питания, как правило, выполнены по безтрансформаторной схеме питания.

Это означает, что при повреждении изоляции или замыкании на стороне нагрузки, т. е. за вентильными элементами, возникает ток утечки несинусоидальной формы, например, выпрямленный однополупериодный ток. Электромеханические УЗО типового исполнения имеют довольно высокое быстродействие. Время срабатывания при номинальном отключающем дифференциальном токе составляет 20–40 мс.

6.5. Основные нормируемые параметры устройства защитного отключения

В настоящее время основные параметры УЗО нормируются следующими стандартами: ГОСТ Р 50807–95 (МЭК 755–83) [13], ГОСТ Р 51992–2002 (МЭК 61643–1–98) [14].

Номинальное напряжение U_n – действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО,

$$U_n = 220, 380 \text{ В.}$$

Номинальный ток I_n – значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы,

$$I_n = 6; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125 \text{ А.}$$

Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ – значение дифференциального тока, которое вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации,

$$I_{\Delta n} = 0,006; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 0,5 \text{ А.}$$

Номинальный условный ток короткого замыкания (КЗ), I_{nC} – действующее значение ожидаемого тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от КЗ, при заданных условиях эксплуатации, без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность,

$$I_{nC} = 3\ 000; 4\ 500; 6\ 000; 10\ 000 \text{ А.}$$

Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания (КЗ), $I_{\Delta C}$ – действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от КЗ, при заданных условиях эксплуатации, без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность,

$$I_{\Delta C} = 3\ 000; 4\ 500; 6\ 000; 10\ 000 \text{ А.}$$

Номинальное время отключения УЗО T_n – промежуток времени между моментом внезапного возникновения отключающего дифференциального тока и моментом гашения дуги на всех полюсах. Стандартные значения максимально допустимого времени отключения УЗО при любом номинальном токе нагрузки и заданных нормами значениях дифференциального тока не должны превышать значений, приведенных в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Максимально допустимое время отключения УЗО
при заданных значениях дифференциального тока [20]

Время отключения T_n , с, при I_{Δ}			
$I_{\Delta n}$	$2 \cdot I_{\Delta n}$	$5 \cdot I_{\Delta n}$	500 А
0,3	0,15	0,04	0,04

6.6. Устройство защитного отключения как противопожарное средство

Электрические изделия являются одними из наиболее пожароопасных видов продукции, так как в них сочетается присутствие горючих электроизоляционных материалов (изоляция, оболочки и внешние защитные слои кабелей и т. п.) с появлением в аварийных режимах источников зажигания (искры, дуги, нагретые электрическим током детали и т. п.).

В промышленно развитых странах, в том числе и в России, доля пожаров от электрических изделий ежегодно составляет от 15 до 25 %. Причинами возгорания электропроводки могут являться:

- нагрев проводников (локальный или на протяженном участке) из-за перегрузки;
- искрение в месте плохого электрического контакта (в соединениях, на клеммах электроприборов и аппаратов);
- утечка тока по загрязнениям, пыли и т. п. с не изолированных участков цепи (в соединительных, разветвительных и проходных коробках, распределительных щитах, электрических аппаратах);
- горение электрической дуги на каком-либо участке цепи, вызванное током КЗ.

Повреждения изоляции могут происходить по следующим причинам.

1. Электрические причины:

- перенапряжения;
- сверхтоки.

2. Механические причины:

- удар, нажим, сдавливание;
- изгиб;
- повреждение инородным телом.

3. Воздействие окружающей среды:

- влажность;
- тепло;
- солнечный свет;
- излучение (ультрафиолет);
- старение;
- химическое воздействие.

Развитие КЗ из тока утечки происходит по следующему сценарию. В месте микроповреждения изоляции между находящимися под напряжением проводниками начинает протекать емкостной микроток. Под воздействием влажности, загрязнения, проникновения пыли с течением времени образуется проводящий мостик, по которому протекает ток утечки.

По мере ухудшения состояния изоляции, начиная со значения тока $I_{\text{утеч.}} \leq 1 \text{ мА}$, постепенно происходит обугливание проводящего канала, возникает «угольный мостик», и в диапазоне от 5 до 50 мА ток уже течет постоянно и непрерывно растет. При значениях тока утечки 150 мА, что соответствует мощности 33 Вт, возникает реальная опасность возгорания вследствие нагрева теплом, выделяемым в месте повреждения изоляции, соответствующих легко воспламеняемых материалов. Так как под напряжением сопротивление «угольного мостика» ниже, чем в «холодном» состоянии, процесс носит лавинный характер, ток утечки быстро растет, и при значениях 300–500 мА в канале между зернами обугленного материала возникает тлеющий разряд, приводящий в конечном результате к загоранию электрической дуги.

Для воспламенения изоляции необходимо действие мощности от 40 до 60 Вт. Выделение такой мощности возможно при протекании токов утечки в месте повреждения изоляции или возникновении «горячей точки» в месте плохого контакта (незатянутые зажимы и т. п.).

Во многих случаях возгорание происходит не в результате локального нагрева изоляции, а вследствие возгорания дуги. При этом возгорание дуги может происходить и при низких напряжениях и малых мощностях выделяемой энергии.

Практика показала, что в зависимости от мощности, выделяемой в месте повреждения изоляции, во временном интервале 10–2 000 мс для обесточивания сети эффективно применение УЗО с уставками по дифференциальному току 10, 30 и 300 мА.

Следовательно, массовое применение УЗО на всех без исключения объектах может радикально изменить ситуацию с возникновением пожаров по электротехническим причинам.

По эффективности действия реальной альтернативы защитному отключению не существует, о чем однозначно свидетельствуют результаты научных исследований и успешная практика применения УЗО в разных странах.

7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

В основу классификации действующих ЭУ по условиям их безопасной эксплуатации положено напряжение электроустановки до 1 кВ включительно и выше 1кВ.

Это связано с тем, что поражение человека током в ЭУ до 1кВ возможно при непосредственном контакте с токоведущими частями (ТВЧ), в то время как в электроустановке выше 1 кВ, в зависимости от величины напряжения, опасно не только прикосновение, но и приближение человека к токоведущим частям электроустановки. При уменьшении расстояния до опасных значений наступает электрический пробой воздушного промежутка, и между человеком и ТВЧ возникает электрическая дуга.

При проектировании и эксплуатации электроустановок руководствуются классификацией помещений по характеру окружающей среды, которая существенно влияет на опасность поражения током.

7.1. Классификация помещений по степени опасности поражения людей электрическим током

В «Правилах» [15], в подразд. 1.1.13, определены следующие классы помещений в отношении опасности поражения людей электрическим током в зависимости от факторов, создающих опасность поражения электрическим током (табл. 7.1):

- *с повышенной опасностью;*
- *особо опасные;*
- *без повышенной опасности.*

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырость (относительная влажность более 75 %) или токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т. п.);
- токопроводящая пыль;
- высокая температура;
- 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.

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

Жаркие помещения – помещения, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура постоянно или периодически (более 1 суток) превышает +35 °С (например, помещения с сушилками, обжигательными печами, котельные).

3. Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особая сырость;
- химически активная или органическая среда;
- одновременно два или более условий повышенной опасности.

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

Помещения 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.

4. Территория открытых электроустановок, в отношении опасности поражения людей электрическим током приравняемая к особо опасным помещениям.

Важно отметить, что в отношении опасности поражения людей электрическим током безопасных помещений не бывает.

К помещениям без повышенной опасности относятся помещения с нормальными условиями – с изолирующими полами, не имеющие заземленных предметов, например, жилые помещения, в которых трубопроводы отопления, водоснабжения, газоснабжения закрыты стационарными изолирующими ограждениями. Отсутствие таких ограждений, дающее возможность одновременного прикосновения к корпусам светильников, бытовых электроприемников, с одной стороны, и к указанным трубопроводам, с другой, создает условия, позволяющие указанные помещения отнести к помещениям с повышенной опасностью.

Примерами особо опасных помещений могут служить котельные, водонасосные станции, столовые, помещения для умывания, душевые и туалеты, механические мастерские и многие другие. К особо опасным помещениям приравниваются также территории размещения наружных или открытых электроустановок, т. е. электроустановок, не защищенных зданием от атмосферных воздействий.

В зависимости от группы помещения по электробезопасности установлены соответствующие требования к классам передвижных (переносных) электрических машин, питающим напряжениям переносных светильников, бытовых электроприемников и светильников местного стационарного освещения и другие требования, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок. Так, для питания переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных должно применяться напряжение не выше 50 В. При наличии особо неблагоприятных условий и в наружных установках для питания ручных светильников должно применяться напряжение не выше 12 В.

Таблица 7.1

Классификация помещений по характеру окружающей среды

№ п/п	Класс помещения	Характеристика (признаки) помещения
1	Нормальное	Сухое помещение, в котором отсутствуют признаки, свойственные помещениям жарким, пыльным и с химически активной или органической средой
2	Сухое	Относительная влажность воздуха не превышает 60 %
3	Влажное	Относительная влажность воздуха не более 60 %, но не превышает 75 %
4	Сырое	Относительная влажность воздуха превышает 75 %
5	Особо сырое	Относительная влажность воздуха превышает 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении покрыты влагой)
6	Жаркое	Температура постоянно или периодически (более 1 суток) превышает +35°
7	Пыльное	Помещение, в котором по условиям производства выделяется токопроводящая или нетокопроводящая пыль, оседающая на токоведущих частях или проникающая внутрь электроустановки
8	С химически активной или органической средой	Помещение, в котором постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные вещества (пары, газы, жидкости), образующие отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части оборудования

7.2. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками

При выборе оборудования и определении места его установки очень важно обеспечить соответствие степени защиты корпуса внешним условиям эксплуатации прибора. Корпус любого прибора, использующего электрическое питание, должен одновременно удовлетворять двум требованиям защиты:

- обеспечивать электробезопасность обслуживающего персонала;
- защищать электронные элементы, расположенные в корпусе, от воздействий окружающей среды.

International Protect (IP) – система кодификации, применяемая для обозначения степеней защиты, обеспечиваемых оболочкой от доступа к опасным частям, попадания внешних твердых предметов, воды, а также для предоставления дополнительной информации, связанной с такой за-

щитой. Код *IP* несет информацию о степени защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током и защиты расположенных внутри электронных элементов от проникновения пыли и воды. *IP* кодируется двухзначным числом, каждая из цифр которого указывает степень допустимого воздействия фактора. Первая цифра указывает защиту от проникновения посторонних предметов внутрь, вторая цифра характеризует защиту от жидкостей.

Удобство норматива *IP* признано во всем мире, он используется гораздо чаще, чем ссылки на национальные стандарты. В настоящее время норматив *IP* активно используется и в России. На корпусах приборов многих фирм указывается степень защиты с помощью букв *IP* и последующих двух цифр, например, *IP65*.

В ГОСТ 14254–96 (МЭК 529–89) [8] дана система классификации степеней защиты, обеспечиваемой оболочками электрооборудования (табл. 7.2).

Так, по условиям электробезопасности устройство класса *IP40* имеет высокую степень защиты, однако не защищено от попадания воды. Приборы класса не ниже *IP54* допускается устанавливать на морских судах.

Существенно, что нормативами *IP* не учитывается защита от агрессивных сред и специальное применение оборудования, для которых существуют специальные стандарты.

Таблица 7.2

Элементы кода *IP* и их обозначения

Первая цифра	Краткое наименование	Характеристика защиты
0	Без защиты	Открытая конструкция, отсутствие какой-либо защиты от пыли, от прикосновения персонала к токоведущим частям
1	Защита от крупных предметов диаметром более 50 мм	Защита от проникновения в конструкцию крупных предметов – шар диаметром 50 мм не должен проникать внутрь. Частичная защиты от случайного касания токоведущих частей человеком
2	Защита от предметов среднего размера (диаметром не менее 12,5 мм)	Защита конструкции от проникновения внутрь предметов среднего размера – шар диаметром 12,5 мм не должен проникать внутрь. Защиты от прикосновения пальцами к токоведущим частям

Продолжение табл. 7.2

Первая цифра	Краткое наименование	Характеристика защиты
3	Защита от твердых предметов (диаметром не менее 2,5 мм)	Защита конструкции от проникновения внутрь предметов среднего размера – шар диаметром 2,5 мм не должен проникать внутрь. Защита персонала от случайного касания токоведущих частей инструментом или пальцами
4	Защита от песка (твердых предметов диаметром не менее 1 мм)	В конструкцию не должны попадать предметы диаметром не более 1 мм – шар диаметром 1 мм не должен проникать внутрь. Конструкция защищает от прикосновения к токоведущим частям пальцами или инструментом
5	Защита от пыли	Пыль может проникать в корпус в незначительном количестве, не препятствующем нормальной работе оборудования. Полная защита от прикосновения к токоведущим частям оборудования
6	Пыленепроницаемая защита	Попадание пыли внутрь конструкции исключено

Окончание табл. 7.2

Вторая цифра	Краткое наименование	Характеристика защиты
0	Без защиты	Защита отсутствует
1	Защита от капель, падающих вертикально	Капли воды, падающие вертикально, не могут вызвать опасных последствий для оборудования
2	Защита от капель, падающих под углом	Капли воды, падающие под углом 15°, не вызывают опасных последствий
3	Защита от брызг воды	Брызги воды, падающие на конструкцию под углом 60°, не вызывают опасных последствий
4	Защита от обрызгивания	Брызги воды, направленные на конструкцию с любого направления, не вызывают опасных последствий
5	Защита от водных струй	Струи воды, например, из шланга, не причиняют вреда размещенному в корпусе оборудованию
6	Защита от залива водой	Залив оборудования водой, например, на палубе корабля, не приводит к повреждению оборудования
7	Защита при временном погружении в воду	Корпус может быть полностью погружен в воду, что не приводит к повреждению размещенного в корпусе оборудования
8	Защита при длительном погружении в воду	Конструкция выдерживает без последствий погружение в воду на определенную глубину (защита от воды под давлением, причем давление указывается специально)

Условные обозначения степеней защиты оболочек электрических аппаратов напряжением до 1 кВ приведены в табл. 7.3

Таблица 7.3

Степень защиты от соприкосновения и попадания посторонних тел	Степень защиты от проникновения воды								
	0	1	2	3	4	5	6	7	0
0	IP 00	*	*	*	*	*	*	*	*
1	IP 10	IP 11	IP 12	*	*	*	*	*	*
2	IP 20	IP 21	IP 22	IP 23	*	*	*	*	*
3	IP 30	IP 31	IP 32	IP 33	IP 34	*	*	*	*
4	IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44	*	*	*	*
5	IP 50	IP 51	*	*	IP 54	IP 55	IP 56	*	*
6	IP 60	*	*	*	*	IP 65	IP 66	IP 67	IP 68

7.3. Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током

В ГОСТ Р МЭК 60536–2–2001 [16], сформулирована следующая концепция защиты от электропоражения.

Концепция стандарта основана на двух принципах.

1. Необходимо различать следующие виды опасности поражения электрическим током:

- опасность прикосновения к токоведущим частям, когда человек одновременно находится в контакте с потенциалом земли или другой токоведущей частью отличного потенциала (прямое прикосновение);

- опасность прикосновения к открытой проводящей части электрического оборудования, которая находится под напряжением вследствие повреждения изоляции, когда в этот момент человек находится в контакте с потенциалом земли или с другой проводящей частью отличного потенциала, например, с другой открытой проводящей частью или сторонней проводящей частью (косвенное прикосновение).


Оба вида опасности соответствуют основному правилу защиты от поражения электрическим током: ***опасные токоведущие части не должны быть доступными, а доступные проводящие части не должны быть опасными в нормальных условиях работы и при наличии неисправности.***

2. Каждая составная часть электрического оборудования обеспечена тем же видом защиты от поражения электрическим током, который принят для электроустановки в целом.

Защита от поражения электрическим током может быть обеспечена окружающей средой, самим оборудованием, системой питания или соответствующими комбинациями мер защиты, приведенными в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Применение электрооборудования
в электроустановках напряжением до 1кВ

Класс по ГОСТ Р МЭК 536–94 [9]	Маркировка	Назначение защиты	Условия приемки электрооборудования в электроустановке
Класс 0	Нет	При косвенном прикосновении	1. Применение в непроводящих помещениях. 2. Питание от вторичной обмотки разделительного трансформатора только одного электроприемника
Класс I	Защитный зажим  или буквы PE	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

Примечание. ГОСТ 12.2.007.0–75 [5], на который дана ссылка в ПУЭ, устанавливает пять классов защиты по способу защиты человека от поражения электрическим током: 0; 0I; I; II; III.

Защита от косвенного прикосновения обеспечивается следующими мерами: применение основной защиты, которая обеспечивает защиту от поражения электрическим током, и дополнительной защиты, которая

обеспечивает защиту от поражения электрическим током в случае отказа основной защиты.

Дополнительная защита может быть обеспечена соответствующей конструкцией оборудования (класс II) или мерами, обеспечивающими защиту при монтаже установки (как для классов 0, I, III) или специальной комбинацией этих мер защиты.

Согласно ПУЭ [15] (п. 1.7.87, табл. 1.7.3) при выполнении мер защиты в электроустановках зданий до 1 кВ классы применяемого оборудования по способу защиты человека от поражения электрическим током следует принимать согласно табл. 7.4.

К классу 0 должны относиться изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию и не имеющие элементов для заземления, если эти изделия не отнесены к классу II или III.

К классу 0I должны относиться изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания.

К классу I должны относиться изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию и элемент для заземления. В случае, если изделие класса I имеет провод для присоединения к источнику питания, этот провод должен иметь заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом.

К классу II должны относиться изделия, имеющие двойную или усиленную изоляцию и не имеющие элементов для заземления.

К классу III следует относить изделия, предназначенные для работы при безопасном сверхнизком напряжении, не имеющие ни внешних, ни внутренних электрических цепей, работающих при другом напряжении.

Изделия, получающие питание от внешнего источника, могут быть отнесены к классу III только в том случае, если они присоединены непосредственно к источнику питания, преобразующему более высокое напряжение, что осуществляется посредством разделительного трансформатора или преобразователя с отдельными обмотками.

При использовании в качестве источника питания разделительного трансформатора или преобразователя его входная и выходная обмотки не должны быть электрически связаны и между ними должна быть двойная или усиленная изоляция.

8. ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ЛЮБОГО НАЗНАЧЕНИЯ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Международной электротехнической комиссией (МЭК) разработаны стандарты, в которых изложены принципы защиты зданий и сооружений любого назначения от перенапряжений, связанных с грозовыми разрядами.

К ним, в первую очередь, относятся следующие стандарты:

- *IEC-61024-1* (1990-04): «Молниезащита строительных конструкций. Часть 1. Основные принципы»;

- *IEC-61024-1-1* (1993-09): «Молниезащита строительных конструкций. Часть 1. Основные принципы. Руководство А: Выбор уровней защиты для молниезащитных систем»;

- *IEC 61312-1* (1995-05): «Защита от электромагнитного импульса молнии. Часть 1. Основные принципы».

Требования этих стандартов формируют так называемую «Зоновую концепцию защиты», основными принципами которой являются:

- применение строительных конструкций с металлическими элементами (арматурой, каркасами, несущими элементами и т. п.), электрически связанными между собой и системой заземления, и, следовательно образующими экранирующую среду для уменьшения воздействия внешних электромагнитных влияний внутри объекта («клетка Фарадея»);

- наличие правильно выполненной системы заземления и выравнивания потенциалов;

- деление объекта на условные защитные зоны и применение специальных устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП);

- соблюдение правил размещения защищаемого оборудования и подключенных к нему проводников относительно другого оборудования и других проводников, способных оказывать опасное воздействие или вызвать наводки.

Наиболее сложная схема системы защиты должна выстраиваться для объектов, которые находятся на открытой местности и имеют в своем со-

ставе высоко расположенные элементы строительных конструкций. К таким объектам относятся коттеджи в сельской местности, промышленные объекты с высокими трубами, объекты связи с антенно-мачтовыми сооружениями (АМС) и другие объекты, т. е. те, в которые с большой степенью вероятности может ударить молния, а также объекты, имеющие воздушные вводы электропитания. Тогда, когда необходимо, например, защитить здание, расположенное в населенном пункте городского типа, вопрос решается существенно проще. В городских условиях удар молнии наиболее вероятен в трубы промышленных предприятий, линии электропередач, телевизионную вышку или отдельные, наиболее высокие здания (особенно если на них установлены антенно-мачтовые сооружения базовых станций сотовой связи).

Токи разряда молний могут воздействовать на объект как прямым способом при попадании молнии в его систему молниезащиты или находящиеся в непосредственной близости сооружения, предметы или деревья, так и косвенно. Поэтому наиболее частыми являются случаи вторичных воздействий при ударе молнии в удаленные объекты (линии электропередач, подстанции и т. п.), связанные какими-либо коммуникациями с защищаемым объектом, или при межоблачных разрядах, вызывающих возникновение импульсных токов больших величин в металлических элементах конструкций и коммуникациях.

8.1. Зоны молниезащиты с точки зрения прямого и непрямого воздействия молнии

Принципы защиты от вторичных воздействий молнии электрических и электронных систем основываются на рекомендациях стандартов МЭК. Системы защиты от вторичных воздействий молнии используются во многих отраслях производства, применяющих достаточно сложное и дорогостоящее электронное оборудование. Это оборудование более чувствительно к воздействию молнии, чем устройства предыдущих поколений, поэтому необходимо применять специальные меры по их защите от опасных воздействий молнии.

Пространство, в котором расположены электрические и электронные системы, должно быть разделено на зоны различной степени защиты. Зоны характеризуются существенным изменением электромагнитных параметров на границах. В общем случае, чем выше номер зоны, тем меньшие значения параметров электромагнитных полей, токов и напряжений в пространстве этой зоны должны быть обеспечены.

Стандарт *IEC* [17] определяет зоны молниезащиты по условию прямого и непрямого воздействия молнии:

Зона 0А – зона внешней среды объекта, все точки которой могут подвергаться воздействию прямого удара молнии (иметь непосредственный контакт с каналом молнии) и возникающего при этом электромагнитного поля.

Зона 0В – зона внешней среды объекта, точки которой не подвергаются воздействию прямого удара молнии (ПУМ), так как находятся в пространстве, защищенном системой внешней молниезащиты. Однако, в данной зоне имеется воздействие неослабленного электромагнитного поля.

Зона 1 – внутренняя зона объекта, точки которой не подвергаются воздействию прямого удара молнии. В этой зоне токи во всех токопроводящих частях имеют меньшее значение по сравнению с зонами 0А и 0В. Электромагнитное поле также снижено по сравнению с зонами 0А и 0В за счет экранирующих свойств строительных конструкций.

Последующие зоны (Зона 2, и т. д.). Если требуется дальнейшее снижение разрядных токов или электромагнитного поля в местах размещения чувствительного оборудования, то необходимо проектировать так называемые последующие зоны. Критерий для этих зон определяется соответственно общими требованиями по ограничению внешних воздействий, влияющих на защищаемую систему. Имеет место общее правило, по которому с увеличением номера защитной зоны уменьшается влияние электромагнитного поля и грозового тока. На границах раздела отдельных зон необходимо обеспечить защитное последовательное соединение всех металлических частей с проведением их периодического контроля.

Примечание: способы образования связей на границах раздела между Зоной 0А, Зоной 0В и Зоной 1 приведены в ст. 3.1 стандарта *IEC* [17].

На распределение энергии электромагнитных полей внутри объекта оказывают влияние различные элементы строительных конструкций, та-

кие, как отверстия или щели (например, окна, двери) обшивки из листовой стали (водосточные трубы, карнизы), а также места ввода-вывода кабелей электропитания, связи и других коммуникаций.

На рис. 8.1 приводится пример разделения защищаемого объекта на несколько зон.

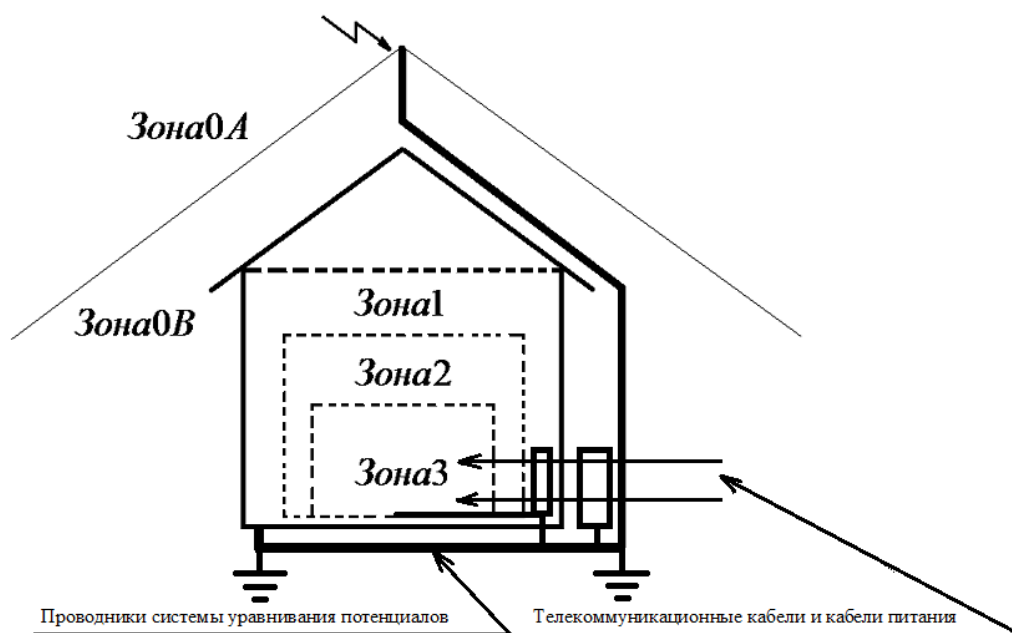


Рис. 8.1. Пример разделения защищаемого объекта на несколько зон

Кабели электропитания, связи и другие металлические коммуникации должны входить в защитную Зону 1 в одной точке и своими экранными оболочками или металлическими частями подключаться к главной заземляющей шине на границе раздела Зон 0А – 0В и Зоны 1. Описанное выше разделение объекта на условные зоны позволяет на практике эффективно решать вопросы защиты электропитающих сетей до 1 000 В, а также линий связи, передачи данных, компьютерных сетей и других коммуникаций, входящих в объект, с помощью применения различного типа устройств защиты от импульсных перенапряжений (или так называемой внутренней системой молниезащиты).

8.2. Устройства защиты от перенапряжений

Согласно определению, приведенному в стандарте ГОСТ Р 51992–2002 (МЭК 61643–1–98) [14], «Устройство защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) – это устройство, которое предназначено для ограничения переходных перенапряжений и для отвода импульсов тока. Это устройство содержит, по крайней мере, один нелинейный элемент». В качестве элементной базы для создания УЗИП, как правило, используют разрядники различных типов и оксидно-цинковые варисторы.

Устройства защиты от перенапряжений (УЗП) устанавливаются в месте пересечения линией электроснабжения, управления, связи, телекоммуникации границы двух зон экранирования. УЗП различного принципа действия комбинируют для достижения приемлемого распределения нагрузки между ними в соответствии с их стойкостью к разрушению, а также для уменьшения вероятности разрушения защищаемого оборудования под воздействием тока молнии.

8.3. Основные типы устройств защиты от перенапряжений

Существует четыре основных типа устройств защиты от импульсного перенапряжения.

1. Первый тип устройств защиты – разрядник (рис. 8.2, а).

Он представляет собой ограничитель перенапряжения из двух токопроводящих пластин с калиброванным зазором. При существенном повышении напряжения между пластинами возникает дуговой разряд, обеспечивающий стекание высоковольтного импульса на землю. По исполнению разрядники делятся на воздушные, воздушные многоэлектродные и газовые.

В газовом разряднике дуговая камера заполнена инертным газом низкого давления. Благодаря этому их параметры мало зависят от внешних условий (влажность, температура, запыленность и т. д.), кроме того, газовые разрядники имеют экстремально высокое сопротивление (около 10 ГОм), что позволяет их применять для защиты от перенапряжения высокочастотных устройств с частотой до нескольких ГГц.

При установке воздушных разрядников имеет место выброс горячего ионизированного газа из дуговой камеры, что существенно при установке в пластиковые щитовые конструкции.

Типовое напряжение срабатывания для разрядников составляет 1,5–4 кВ (для сети 220/380 В–50 Гц). Время срабатывания порядка 100 нс. Максимальный ток при разряде для различных исполнений от 45 до 60 кА при длительности импульса 10/350 мкс.

Устройства выполняются в виде отдельных элементов для установки в распределительные щиты. Отдельную группу составляют разрядники в виде элементов для установки на платы с токами разряда от 1 до 20 кА (8/20 мкс).

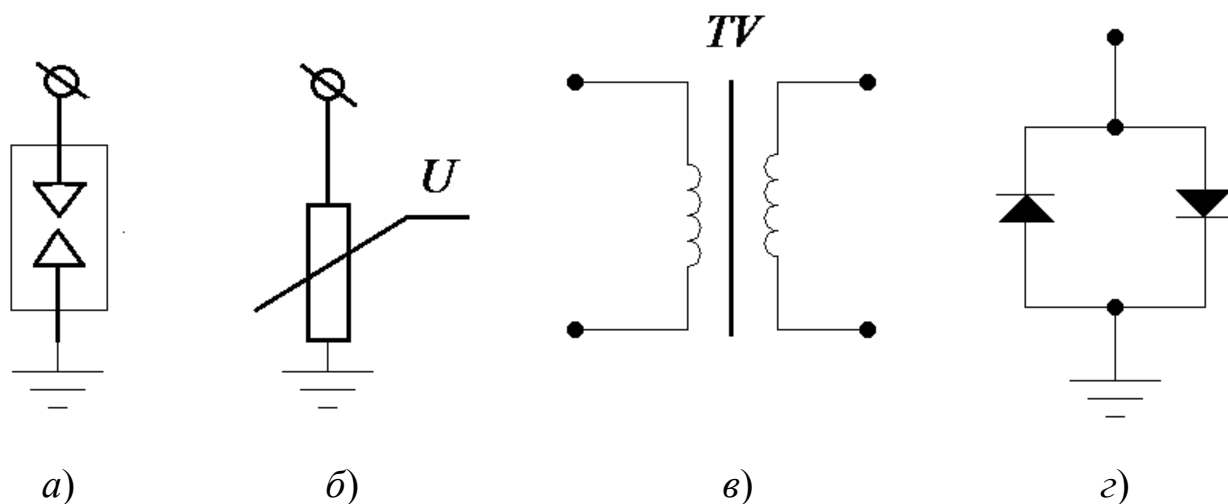


Рис. 8.2. Ограничители перенапряжений (устройства защиты)

2. Второй тип устройств защиты – **варистор** (рис. 8.2, б).

Варистор – это керамический элемент, у которого резко падает сопротивление при превышении приложенного к нему напряжения по отношению к напряжению срабатывания.

Напряжение срабатывания варистора 470–560 В (для сети 220/380 В – 50 Гц). Время срабатывания – менее 25 нс. Максимальный импульсный ток – от 2 до 40 кА при длительности импульса 8/20 мкс.

Устройства выполняются как в виде отдельных элементов для установки в радиоаппаратуру, так и в виде модуля для установки в силовые щиты.

3. *Третий тип устройств защиты – **разделительный трансформатор*** (рис. 8.2, в).

Эффективный ограничитель перенапряжения – силовой 50-герцовый трансформатор с раздельными обмотками и равными входным и выходным напряжениями. Трансформатор имеет значительную индуктивность рассеяния и просто не способен передать посредством магнитного потока столь короткий высоковольтный импульс во вторичные цепи. Благодаря этому свойству он выполняет функцию защиты от импульсного перенапряжения. Однако при прямом попадании молнии в подводящую кабельную сеть может нарушиться целостность изоляции первичной обмотки и трансформатор выйдет из строя.

4. *Четвертый тип устройств защиты – **защитный диод*** (рис. 8.2, г). Защитный диод применяется для защиты от перенапряжения аппаратуры связи. Обладает высокой скоростью срабатывания (менее 1 нс) и разрядным током 1 кА при токовом импульсе 8/20 мкс.

Все четыре вышеописанных ограничителя перенапряжения имеют свои достоинства и недостатки.

Если сравнить разрядник и варистор с одинаковым максимальным импульсным током и обратить внимание на длительность испытательного импульса, то становится очевидным, что разрядник способен поглотить энергию на два порядка больше, чем варистор. Зато варистор срабатывает быстрее, напряжение срабатывания существенно ниже, кроме того, он генерирует существенно меньший уровень помех при работе.

Разделительный трансформатор при определенных условиях имеет безграничный ресурс по защите нагрузки от импульсного перенапряжения (у варисторов и разрядников при срабатывании происходит постепенное разрушение материала элемента), но для сети 100 кВА требуется трансформатор равной или большей мощности (тяжелый, габаритный, весьма дорогой и снижающий общий КПД системы электроснабжения).

Существенным является также то, что при отключении первичной сети трансформатор сам по себе генерирует высоковольтный выброс за счет

запасенной в магнитопроводе энергии магнитного поля. Это требует установки варисторов в цепи вторичной обмотки трансформатора.

Серьезной проблемой в процессе организации защиты оборудования от грозового и коммутационного перенапряжения является то, что нормативная база в этой области до настоящего времени разработана недостаточно.

Существующие нормативные документы либо содержат в себе устаревшие, не соответствующие современным условиям требования, либо рассматривают их частично, в то время как решение данного вопроса требует комплексного подхода.

8.4. Трехступенчатая схема включения защитных устройств

Для гарантированной защиты объекта от перенапряжений, возникающих при стекании токов молнии на заземляющее устройство или при распространении волны перенапряжения по питающей сети (в случае далекого удара молнии), «Зоной концепцией защиты» предусмотрена трехступенчатая схема включения защитных устройств. Основные классы устройств защиты от перенапряжений для низковольтных электрических сетей, методики их испытаний и принципы применения приведены в следующих стандартах МЭК:

- IEC-61643-1 (1998) «Устройства защиты от перенапряжений для низковольтных систем распределения электроэнергии. Часть 11. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний».

- IEC-61643-12 (2002) «Устройства защиты от перенапряжений для низковольтных систем распределения электроэнергии. Часть 12. Выбор и принципы применения».

Согласно требованиям данных стандартов, устройства защиты от перенапряжений, в зависимости от места установки и способности пропускать через себя импульсные токи соответствующих амплитуд, делятся на следующие классы: I, II, III.

Основные требования к ограничителям перенапряжения разных классов приведены в табл. 8.1.

Основные требования к ограничителям перенапряжения

Класс устройства	Назначение устройства
I(B)	Предназначены для защиты от прямых ударов молнии в систему молниезащиты объекта или воздушную линию электропередачи. Устанавливаются на вводе в здание или главном распределительном щите. Характеризуются импульсным током I_{imp} с формой волны 10/350 мкс
II(C)	Предназначены для защиты токораспределительной сети объекта от коммутационных помех или как вторая ступень защиты при ударе молнии. Устанавливаются в распределительные щиты. Характеризуются импульсным током с формой волны 8/20 мкс
III(D)	Предназначены для защиты потребителей от остаточных бросков напряжения, защиты от дифференциальных (несимметричных) перенапряжений (например, между фазой и нулевым защитным проводником в системе $TN-S$), фильтрации высокочастотных помех. Устанавливаются непосредственно возле потребителя. Характеризуются импульсным током с формой волны 8/20 мкс

Исходя из оценки риска прямого удара молнии или наводок от удаленного разряда, необходимо выбирать тип применяемых защитных устройств и схему их установки. Необходимость защиты от грозовых перенапряжений зависит от интенсивности ударов молнии в данном месте – среднее годовое количество ударов молнии на 1 км^2 за год.

В странах Европы данную статистику проектировщик получает с помощью автоматизированной системы определения места удара молнии.

В условиях России данное значение можно получить, используя карты грозовой активности по регионам, но при этом полученный параметр будет иметь значительный разброс величин.

Также необходимо иметь в виду оценку уязвимости самой электроустановки. Например, подземные системы электропитания по понятным причинам считаются менее уязвимыми, чем воздушные.

Высокая стоимость оборудования, подключенного к защищаемой электроустановке, может служить важным критерием для усложнения схемы защиты.

8.5. Параметры защитных устройств

При выборе защитных устройств с использованием разрядников или оксидно-цинковых варисторов необходимо учитывать следующие параметры последних.

1. *Номинальное рабочее напряжение (U_n)*. Это номинальное действующее напряжение сети, для работы в которой предназначено защитное устройство.

2. *Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение защитного устройства (максимальное рабочее напряжение) (U_C)*.

3. *Классификационное напряжение* (параметр для варисторных ограничителей перенапряжений). Это действующее значение напряжения промышленной частоты, которое прикладывается к варисторному ограничителю для получения классификационного тока (обычно значение классификационного тока принимается равным 1,0 мА).

4. *Импульсный ток (I_{imp})*. Этот ток определяется пиковым значением I_{peak} испытательного импульса длительностью 10/350 мкс и зарядом Q . Применяется для испытаний защитных устройств класса I.

5. *Номинальный импульсный разрядный ток (I_n)*. Это пиковое значение испытательного импульса тока формы 8/20 мкс, проходящего через защитное устройство. Ток данной величины защитное устройство может выдерживать многократно.

6. *Максимальный импульсный разрядный ток (I_{max})*. Это пиковое значение испытательного импульса тока формы 8/20 мкс, который защитное устройство может пропустить один раз и не выйти из строя. Используется для испытания УЗИП класса II.

7. *Сопровождающий ток (I_f)* (параметр для УЗИП на базе разрядников).

Это ток, который протекает через разрядник после окончания импульса перенапряжения и поддерживается самим источником тока, т. е. электроэнергетической системой. Фактически значение этого тока стремится к расчетному току короткого замыкания (в точке установки разрядника для данной конкретной электроустановки). Поэтому для установки в

цепи «ФАЗА-N; ФАЗЫ-РЕ» нельзя применять газонаполненные (и другие) разрядники со значением I_f , равным 100–400 А.

В результате длительного воздействия сопровождающего тока они будут повреждены и могут вызвать пожар. Для установки в данную цепь необходимо применять разрядники со значением I_f , превышающим расчетный ток короткого замыкания, т. е. желательно со значением от 2-3 кА и выше.

8. *Уровень защиты (U_p)*. Это максимальное значение падения напряжения на защитном устройстве при протекании через него импульсного тока разряда. Параметр характеризует способность устройства ограничивать появляющиеся на его клеммах перенапряжения. Обычно определяется при протекании номинального импульсного разрядного тока (I_n).

9. *Время срабатывания*. Для оксидно-цинковых варисторов его значение обычно не превышает 25 нс. Для разрядников разной конструкции время срабатывания может находиться в пределах от 100 наносекунд до нескольких микросекунд.

Существует ряд других параметров, которые тоже учитываются при выборе устройств защиты от перенапряжения: ток утечки (для варисторов), максимальная энергия, выделяемая на варисторе, ток срабатывания предохранителей (для защитных устройств со встроенными предохранителями).

Существуют две основные схемы включения защитных устройств в электропитающую линию (рис. 8.3).

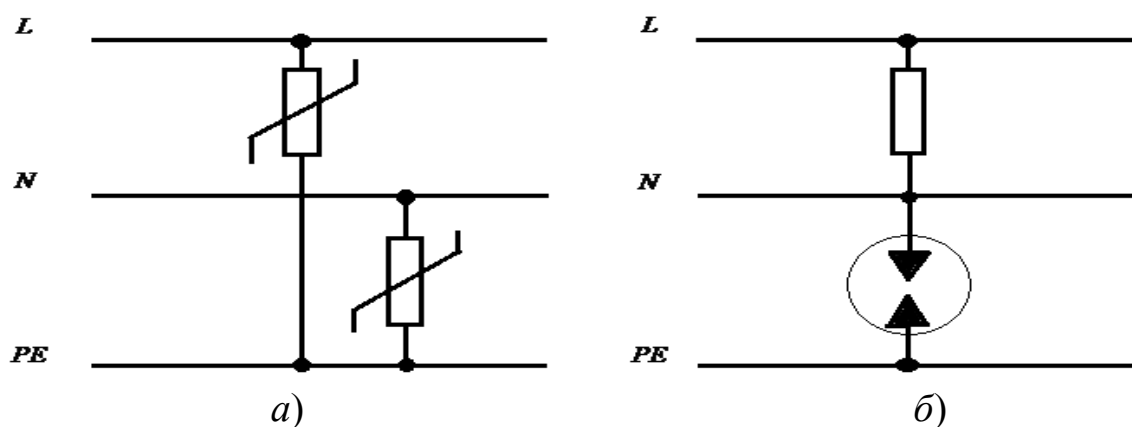


Рис. 8.3. Основные схемы включения защитных устройств в электропитающую линию

Схема на рис. 8.3, *а* предназначена, в первую очередь, для защиты от синфазных (продольных) перенапряжений (провод – земля).

Схема на рис. 8.3, *б* соответственно, от противофазных (поперечных) перенапряжений (провод – провод).

Ограничитель перенапряжений АСТРО*ОПН-12/0,4

Начиная с 1999 г. ООО «АСТРО-УЗО» серийно производит ограничители волновых перенапряжений типа АСТРО*ОПН-12/0,4.

Этот прибор предназначен для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений в электроустановках жилых, общественных, административных и бытовых зданий при воздушном вводе.

АСТРО*ОПН-12/0,4 представляет собой разрядник без искровых промежутков, активная часть которого состоит из металлооксидного нелинейного резистора с существенно нелинейной вольтамперной характеристикой.

Защитное действие АСТРО*ОПН-12/0,4 основано на пропускании импульсного тока с токоведущих проводников на заземляющее устройство.

По стойкости изоляции электротехническое оборудование, предназначенное для использования в сетях 220/380 В, делится на 4 категории (IV, III, II, I). Для каждой категории определяются максимально выдерживаемые импульсные перенапряжения (защитные уровни), допускаемые для подключенного оборудования.

Например, для сети *TN-C* 220/380 В перенапряжение на вводе в объект не должно превысить уровень 6 кВ, после главного распределительного щита – 4 кВ, на выходах вспомогательных распределительных щитов – 2,5 кВ и для оборудования, подключаемого непосредственно к электророзеткам, – 1,5 кВ.

9. ПРИЕМЫ ОКАЗАНИЯ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПРИ ЭЛЕКТРОПОРАЖЕНИИ

Результат оказания первой медицинской помощи (доврачебной) при поражении электрическим током зависит от следующих факторов:

- быстрота действия;
- находчивость оказывающего помощь;
- умение оказывать первую медицинскую помощь.

Несчастные случаи от действия электрического тока составляют 1 % от общего числа несчастных случаев. Из этого процента 40 % являются случаями со смертельным исходом, из которых 80 % – на напряжении 220–380 В.

Под полноценным оживлением понимают такое выполнение первой помощи, когда после состояния клинической смерти у пострадавшего удастся восстановить не только дыхание и кровообращение, но и функции головного мозга (полное сознание, полная двигательная активность, сохраненная чувствительность).

Данные мировой статистики свидетельствуют о том, что в 15 % случаев при оказании квалифицированной первой помощи удастся добиться полноценного оживления пострадавшего. В клинических условиях доля полноценного оживления достигает 25–30 %. Оживление, начатое в первые минуты после поражения человека, наиболее эффективно, т. е. фактор времени является определяющим.

Оказание первой доврачебной помощи пострадавшему от действия электрического тока включает 2 этапа:

- 1) освобождение человека от действия электрического тока;
- 2) оказание доврачебной медицинской помощи.

9.1. Освобождение человека от действия электрического тока и диагностика

Эти необходимые действия осуществляется посредством следующих приемов:

- отключение электрической сети или электрооборудования при помощи специальных аппаратов;
- при удаленных отключающих аппаратах от места несчастного случая осуществляется срезание (разделение питающих проводников электрической сети) при помощи инструментов с изолирующей ручкой;
- стягивание пострадавшего с токоведущих частей или сбрасывание токоведущих проводников с тела человека.

После освобождения пострадавшего от действия электрического тока необходимо определить состояние пострадавшего.

В случае поражения человека электрическим током диагностика означает выяснение вида и объема помощи, необходимой пострадавшему.

В первую очередь, необходимо установить факт нарушения жизненно важных функций, т. е. определить наличие или отсутствие дыхания и сердцебиения. Необходимо определить, нуждается ли пострадавший именно в реанимационных, «оживительных» мероприятиях, или в них нет необходимости.

В любом случае необходимо вызвать скорую медицинскую помощь!

Если пострадавший находится без сознания, его надо уложить на спину. Именно в таком положении он должен находиться при проведении реанимационных мероприятий. Запрокинуть пострадавшему голову назад и, придерживая одной или двумя руками нижнюю челюсть, проверить наличие у пострадавшего дыхания. Запрокидывание головы необходимо для обеспечения свободной проходимости дыхательных путей.

Для определения наличия дыхания у находящегося без сознания пострадавшего необходимо произвести следующие действия:

- запрокинуть голову пострадавшего и приподнять подбородок;
- пронести зрительный, слуховой и осязательный контроль в течение 5 секунд.

Если признаков дыхания нет, то необходимо проверить наличие проходимости дыхательных путей, для чего произвести 2 пробных вдувания воздуха в легкие. Если воздух в легкие не проходит, приступить к оказанию первой помощи при нарушении проходимости дыхательных путей. Если воздух в легкие проходит, то необходимо проверить наличие пульса, и при его наличии провести искусственную вентиляцию легких. Пульс у взрослых и детей определяется на сонной артерии, у младенцев на плечевой артерии.

У находящегося без сознания пострадавшего (в состоянии комы) по причине расслабления мускулатуры существует опасность нарушения проходимости дыхательных путей (обструкция) из-за западания языка, который перекрывает дыхательные пути, вследствие чего наступает удушье (асфиксия).

Остановка дыхания может быть вызвана различными причинами: непроходимостью дыхательных путей (удушьем), различными заболеваниями, ударом электрического тока, утоплением, травмой головы, грудной клетки или легких, тяжелой формой аллергических реакций, отравлением наркотиками или алкоголем.

Признаки и симптомы: бессознательное состояние, бледность кожных покровов, синюшность губ, неподвижность грудной клетки и живота, отсутствие шума дыхания.

Если пострадавший самостоятельно и свободно дышит, отсутствует «синюшность», губы и кожа имеют нормальную окраску, его следует переместить в положение «лежа на боку», согнув верхнюю руку и ногу. В этом положении обеспечивается свободная проходимость дыхательных путей и предотвращается аспирация рвотных масс, если вдруг у пострадавшего возникнет рвота.

Следует избегать положения пострадавшего на животе, так как при этом лицо становится недоступным, вызывается механическая обструкция дыхательных путей, становятся затрудненными и уменьшаются дыхательные движения грудной клетки.

Важно иметь в виду, что дыхание должно быть полностью беспрепятственным, так как даже частичная обструкция дыхательных путей и, следовательно, недостаточная легочная вентиляция приводят к поражению и

отеку головного мозга, отеку легких, прогрессирующей сердечной недостаточности и остановке сердца.

Причиной тому может быть наличие в дыхательных путях крови, жидкости, рвотных масс, инородных тел (зубные протезы, пища и др.). При этом отмечается шумное хрипящее дыхание, иногда булькающее. В этих случаях нужно повернуть голову больного набок и с помощью пальцев, салфетки, носового платка очистить, насколько это возможно, ротовую полость.

Если у пострадавшего отсутствует дыхание, то необходимо немедленно приступить к реанимации.

9.2. Базовая сердечно-легочная реанимация по принципу ABC

Базовая сердечно-легочная реанимация (СЛР) является первым этапом оказания помощи, от своевременного начала которой зависит исход реанимации.

Во всем мире используются три основных правила проведения базовой СЛР. Впервые их сформулировал профессор Питтсбургского университета (США) Питер Сафар [20].

Они обозначаются английскими буквами *ABC*, что означает следующее.

A – Air way open (*открыть воздушный путь*) – обеспечить проходимость дыхательных путей.

B – Breathe for victim (*дыхание для пострадавшего*) – начать искусственную вентиляцию легких.

C – Circulation his blood (*циркуляция, кровообращение*) – проведение непрямого массажа сердца.

A – обеспечение проходимости дыхательных путей.

В первую очередь выполняются следующие действия:

- запрокидывание головы;
- открывание рта;
- выдвижение нижней челюсти.

Для этого запрокидывают голову пострадавшего назад, подложив одну руку под шею, а второй надавливают на лоб.

При этом происходит натяжение мягких тканей (передних мышц шеи) между гортанью и нижней челюстью, благодаря чему корень языка отходит от задней стенки глотки.

Эта манипуляция приводит к восстановлению проходимости дыхательных путей у большинства пациентов, находящихся без сознания. При этом происходит частичное открывание рта, а иногда и отвисание подбородка.

Далее двумя руками захватывают нижнюю челюсть, еще больше приоткрывают рот и выводят нижнюю челюсть вперед.

Наиболее простым и эффективным методом искусственного дыхания во время реанимации считается метод «изо рта в рот», когда в легкие пострадавшего вдувается под давлением воздух, выдыхаемый лицом, оказывающим помощь пострадавшему.

В – проведение искусственного дыхания.

Этот метод основан на ритмичном раздувании легких. Содержание кислорода в выдыхаемом воздухе составляет 16–17 %, этого вполне достаточно для поддержания адекватной вентиляции у пострадавшего с полным прекращением самостоятельного дыхания.

Запрокинув голову пострадавшего, одной рукой зажимают ему ноздри, другую руку подкладывают под шею, делают глубокий вдох, плотно прижимают свои губы к губам пострадавшего (у детей к губам и носу одновременно) и вдувают воздух в легкие пострадавшего, наблюдая при этом за подъемом грудной клетки во время вдоха.

Выдох реаниматора в дыхательные пути пострадавшего должен быть достаточно резким, продолжительностью 1,5-2 с (менее резкий у детей). Как только грудная клетка больного приподнялась, нагнетание воздуха прекращают, несколько отдалают свое лицо для глубокого вдоха, в это время у пострадавшего происходит пассивный выдох.

Во время пауз между вдуваниями давление в дыхательных путях должно вернуться к атмосферному. После 2-3 раздуваний легких проверяют признаки циркуляции, стараясь прощупать пульс на сонной артерии (не более 10-12 с). Для этого указательный и средний пальцы располагают посередине передней поверхности шеи, а затем осторожно скользят ими

к боковой поверхности шеи. Сонная артерия прощупывается в пространстве между гортанью и мышцами шеи.

Пальпацию надежнее проводить не кончиками пальцев, а плашмя сразу несколькими пальцами.

Не всегда удастся адекватно определить наличие пульса, поэтому при отсутствии признаков кровообращения или уверенности в его наличии, необходимо приступать к массажу сердца.

Если пульс определяется и есть уверенность в том, что имеется кровообращение, продолжают искусственное дыхание с частотой 12 раз в минуту (один вдох каждые 5 с). У детей частота дыхания должна быть большей: в возрасте до 2-3 лет – 20 раз в минуту (вдох каждые 3 с), у детей постарше – 15 раз в минуту (вдох каждые 4 с).

Искусственное дыхание продолжают до тех пор, пока пострадавший не начнет дышать самостоятельно или пока не прибудет бригада скорой помощи.

В тех случаях, если для проведения искусственного дыхания у пострадавшего не удастся открыть рот (судороги, повреждение нижней челюсти и др.), проводят искусственное дыхание методом «изо рта в нос». Для этого также запрокидывают голову пострадавшего и одной рукой поддерживают подбородок, одновременно закрывая пальцами рот.

Как только грудная клетка больного начнет приподниматься, освобождают нос пострадавшего и слегка приоткрывают ему рот, что обеспечивает ему свободный выдох.

При проведении искусственного дыхания часть воздуха может попасть в желудок. Это может затруднить расправление легких и вызвать рвоту. Поэтому, если замечено, что желудок больного выпячивается, на короткое время рукой прижимают область желудка между грудиной и пупком. Таким приемом можно удалить воздух из желудка, но при этом может возникнуть регургитация (быстрое движение жидкостей или газов в направлении, противоположном нормальному), поэтому голову и плечи больного поворачивают в сторону и при необходимости очищают полость рта и глотку.

Если у пострадавшего восстанавливается самостоятельное дыхание, его укладывают в положение на боку.

Если при первом контроле пульса на сонной артерии (после первых 2-3 вдохов) определить его не удалось или в этом нет уверенности, немедленно приступают к искусственному восстановлению кровообращения.

В отдельных случаях сердечная деятельность у пострадавшего может восстановиться при выполнении не сильного, но резкого удара в область сердца. Поэтому перед проведением искусственного дыхания и непрямого массажа сердца в случае отсутствия пульса необходимо прикрыть двумя пальцами мечевидный отросток и нанести удар кулаком по груди.

При этом категорически запрещается:

- наносить удар по мечевидному отростку или в область ключиц;
- наносить удар при наличии пульса на сонной артерии;
- наносить удар на груди и проводить непрямой массаж сердца, не освободив грудную клетку и не расстегнув поясной ремень.

Никогда не следует отказываться от оказания помощи пострадавшему и считать его мертвым из-за отсутствия дыхания, пульса и других признаков жизни. Пораженного электрическим током можно признать мертвым только при явно видимых смертельных повреждениях, например, в случае раздробления черепа при падении или при обгорании всего тела. В других случаях констатировать смерть имеет право только врач.

Опыт показывает, что своевременное и правильное оказание первой помощи человеку, находящемуся в состоянии клинической смерти, как правило, приводит к положительному результату – оживлению «умершего».

C – Circulation – восстановление кровообращения (циркуляции крови) проводят с помощью непрямого (наружного) массажа сердца:

- искусственное кровообращение создается путем сдавливания сердца между грудиной и позвоночником;
- поскольку сердце занимает пространство в нижней части грудной клетки, между грудиной и позвоночником, массаж сердца осуществляют надавливанием в области нижней трети грудины.

При прекращении давления происходит наполнение сердца кровью, а легких – воздухом. Во время массажа руки не отнимаются от грудины.

Для проведения массажа ладонную поверхность кисти накладывают на нижнюю треть грудины – на два поперечных пальца выше мечевидного отростка. Сверху накладывают вторую ладонь.

При проведении массажа сердца пострадавший должен лежать на твердой поверхности (на земле, на полу, на твердом матраце, под который подложена доска, если реанимация проводится на постели).

Надавливание на грудину осуществляется прямыми руками. При этом используется не только сила рук, но и тяжесть всего тела человека, оказывающего помощь. Во избежание перелома ребер надавливание должно проводиться только на грудину, следует избегать надавливаний на боковую часть грудной клетки.

Поскольку наружный массаж сердца обеспечивает не более 30–40 % нормального кровотока, частота надавливаний на грудную клетку должна быть не менее 90–100 раз в минуту.

Прекращать массаж можно только при появлении самостоятельного сердцебиения (контроль пульса на сонной артерии), а останавливать сдавливания грудины можно лишь на несколько секунд – для вдувания в легкие воздуха и контроля пульса. Так как массаж не обеспечивает необходимой вентиляции легких, то проводят чередование 15 сдавливаний грудины с 2 нагнетаниями воздуха.

Таким образом, если реанимацию проводит один человек, то соблюдается соотношение 2/15 – через каждые 2 быстрых нагнетания воздуха в легкие производят 15 сдавливаний грудины.

Во время вдувания воздуха в легкие голову пострадавшего нужно поддерживать отогнутой назад и, если возможно, плечи больного приподнять какими-либо предметами (одеяло, сверток одежды и т. п.) для того, чтобы во время массажа голова оставалась наклоненной назад.

При проведении реанимации двумя реаниматорами искусственное дыхание и массаж сердца проводят в соотношении 1/5. Один проводит вдувание воздуха в легкие пострадавшего, и как только грудная клетка примет исходное состояние, второй осуществляет 5 надавливаний на грудину, после чего снова следует искусственный вдох и т. д.

При проведении сердечно-легочной реанимации (СЛР) через каждые 1-2 минуты проверяют, не появился ли у пострадавшего пульс на сонной артерии. При его появлении массаж сердца прекращают и продолжают искусственную вентиляцию легких до появления самостоятельного дыхания.

Реанимацию продолжают до тех пор, пока пострадавший не будет выведен из опасного состояния. Реанимационные мероприятия прекращают, если у больного восстановилось самостоятельное кровообращение, дыхание, реакция зрачков на свет, а затем и сознание. После приведения в чувство и начала работы сердца и органов дыхания пострадавшего необходимо доставить в лечебное учреждение, если не была вызвана скорая помощь.

В случае неудачи, если в течение 40–45 мин при непрекращающихся реанимационных мероприятиях восстановить кровообращение не удастся, а зрачки остаются расширенными и не реагируют на свет, нет признаков самостоятельного дыхания, можно констатировать состояние биологической смерти, при которой наступает необратимая гибель головного мозга. Реанимацию можно прекратить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электрическая энергия занимает особое место среди других видов энергии, известных в настоящее время, что делает актуальной безопасную эксплуатацию современных предприятий и технических комплексов, в состав которых входит большое количество различных электроустановок.

Однако, при неумелом обращении электрическая энергия представляет собой потенциальный источник смертельной опасности для людей, эксплуатирующих электроустановки или вступающих с ними в случайный контакт при возникновении аварийной ситуации.

Персонал, осуществляющий организацию электроустановок, а также эксплуатирующий их, должен знать возможные источники потенциальной опасности при работе с ЭУ и причины, приводящие к электротравматизму.

Анализ физических процессов, происходящих в ЭУ, позволяет выявить условия, создающие опасность электротравматизма, и овладеть основами электробезопасности, необходимыми для исключения случаев электротравматизма и гибели персонала при эксплуатации электроустановок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 12.1.009–2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2010.
2. ГОСТ 12.1.019–2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2010.
3. ГОСТ 12.1.030–81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление и зануление. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001.
4. ГОСТ 12.1.038–82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001.
5. ГОСТ 12.2.007.0–75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – М. : Стандартинформ, 2008.
6. ГОСТ 12.4.155–85 ССБТ. Устройство защитного отключения. Классификация. Общие технические требования. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1985.
7. ГОСТ Р 50571.3–94 (МЭК 364–4–41–92). Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. – М. : Стандартинформ, 1995.
8. ГОСТ 14254–96 (МЭК 529–89). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками. – М. : Стандартинформ, 2008.
9. ГОСТ Р МЭК 536–94. Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током. – М. : Стандартинформ, 2006.
10. ГОСТ Р МЭК 60536–2–2001. Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током. Ч. 2. Руководство для пользователей по защите от поражения электрическим током. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2002.

11. ГОСТ Р 50571.2–94 (МЭК 364–3–93). Электроустановки зданий. Ч. 3. Основные характеристики. – М. : Стандартинформ, 2012.
12. ГОСТ Р 50669–94. Электроснабжение и электробезопасность мобильных (инвентарных) зданий из металла или с металлическим каркасом. Технические требования. – М. : Стандартинформ, 1996.
13. ГОСТ Р 50807–95 (МЭК 755–83). Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2003.
14. ГОСТ Р 51992–2002 (МЭК 61643–1–98). Устройства для защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Ч. 1. Требования к работоспособности и методы испытаний. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2003.
15. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : ЗАО «Энергосервис», 2002. – 280 с.
16. ГОСТ Р МЭК 60536–2–2001. Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2003.
17. IEC–61312–1 (1995) : «Защита от электромагнитного импульса молнии. Ч. 1. Основные принципы». – М. : Стандартинформ, 2000.
18. Маньков В. Д. Безопасность эксплуатации электроустановок : учеб. пособие. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 460 с.
19. Электробезопасность. Теория и практика: учеб. пособие для вузов / П. А. Долин, В. Т. Медведев, В. В. Корочков, А. Ф. Монахов; под ред. В. Т. Медведева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ИД МЭИ, 2012. – 280 с.
20. Монаков В. К., Розанов В. С. Безопасность жизнедеятельности. Электробезопасность : учеб. пособие. – М. : МГТУ МИРЭА, 2013. – 166 с.
21. Карлащук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа *Elektronics Workbench* и ее применение. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Солон-Пресс, 2001. – 726 с.

Учебное издание

Аубакиров Константин Якубович
Макеев Александр Викторович

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Редактор *Е. Н. Ученова*
Компьютерная верстка *К. В. Ионко*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 25.12.2017. Формат 60 × 84 1/16.
Усл. печ. л. 6,98. Тираж 70 экз. Заказ 226.

Гигиеническое заключение
№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02 от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, 108, Плахотного, 8.