Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

М. Р. НАЙФЕЛЬД

ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ДРУГИЕ ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ

БИБЛИОТЕКА
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

ВЫПУСК 416

М. Р. НАЙФЕЛЬД

ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ДРУГИЕ ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ

Издание третье,
переработанное
и дополненное

ЭНЕРГИЯ. МОСКВА 1975

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6П2. 1. 081
Н 36
УДК 621. 316. 99

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Зевакин А. И., Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Розанов С. П., Рябцев Ю. И., Синьчугов Р. И., Смирнов А. Д., Соколов Б. А., Семенов В. А., Устинов П. И.

Найфельд М. Р.
Н 36 Заземление и другие защитные меры. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1975.
104 с. с ил. (Б-ка электромонтера. Вып. 416).

В книге приводятся основные понятия о назначении и устройстве защитных заземлений и других защитных мер электробезопасности в электротехнических установках напряжением до 35 кВ.

Второе издание книги выходило в 1966 г.

В третьем издании описана перспективная защитная мера — защитное отключение. Учтен проект новых Правил устройства электроустановок. В конце книги даны ответы на наиболее частые вопросы читателей.

Книга предназначена для электромонтеров, обслуживающих электроустановки, а также работников других специальностей, связанных по работе с использованием электроэнергии.

Н $\frac{30311-228}{051(01)-75}$ 115-75 6П2. 1. 081

© Издательство «Энергия», 1975 г.

МАРК РОМАНОВИЧ НАЙФЕЛЬД

Заземление и другие защитные меры

Редактор **Ю. А. Державина**
Редактор издательства **Э. К. Биленко**
Обложка художника **Е. В. Нинитина**
Технический редактор **О. Д. Кузнецова**
Корректор **А. К. Улегова**

Сдано в набор 4/XI 1974 г. Подписано к печати 14/III 1975 г. Т-03296. Формат 84×108 1/32. Бумага типографская № 2 Усл. печ. л. 5,46 Уч.-изд. л. 5,66. Тираж 100000 экз. Зак. 408. Цена 21 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

Введение

Развитие науки и техники с первых шагов человечества и в наши дни помогает ему в освоении сил природы, способствует повышению уровня жизни. Но параллельно с освоением человеком технических средств и научных достижений при их использовании растет во многих случаях опасность для жизни и здоровья людей. Это в большой степени относится и ко все расширяющемуся применению электроэнергии в промышленности, на транспорте, в коммунальном хозяйстве, быту, строительстве и других областях.

В последние годы число смертельных поражений электрическим током составляет в развитых капиталистических странах, по данным только официальной статистики, от двух до семи случаев на один миллион жителей в год.

Считается, что мировое производство электроэнергии возрастает примерно в 2 раза через каждые 10 лет.

Можно ли из сказанного сделать вывод о неизбежности случаев электротравматизма? Разумеется — нет.

Поражения электрическим током происходят в первую очередь из-за недостаточного, а порой неудовлетворительного качества или конструкции изделий, проводок и сетей, несвоевременных их испытаний, ремонта и замены пришедших в негодность. Вторая причина электротравматизма — несоблюдение Правил устройства электроустановок при про-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

ектировании и монтаже, необоснованная, в ущерб электробезопасности, экономия. Наконец, третья причина — неосторожное обращение с электроприемниками, иногда вследствие неосведомленности, а чаще из-за нарушения Правил техники безопасности, поспешных, непродуманных действий. Эти причины могут и должны быть устранены, что требует постоянно немалых усилий и внимания.

В каждой установке в зависимости от ее вида и назначения, условий эксплуатации и других факторов предусматриваются при ее сооружении и в эксплуатации защитные меры и средства электробезопасности, предписанные Правилами устройства электроустановок (сокращенно ПУЭ), Строительными нормами и правилами (СНиП), Правилами технической эксплуатации (ПТЭ), Правилами техники безопасности (ПТБ). Изучение этих правил и неуклонное их соблюдение составляют основу техники электробезопасности.

По мере развития науки и техники возникают новые области применения электроэнергии и новые проблемы обеспечения электробезопасности, накапливается опыт применения защитных мер и средств. Все это требует постоянного их совершенствования на научной основе. Большая работа в этой области проводится учеными, врачами и инженерами как в СССР, так и в других странах. Таким образом, достижения науки и техники в свою очередь помогают предупреждению случаев электротравматизма и устранению их последствий.

Данная работа имеет целью ознакомить читателей с современными защитными мерами электробезопасности на основе действующих в Советском Союзе правил и норм.

Глава первая

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1. Человек в электрической цепи

Тело человека (или животного) способно проводить электрический ток. Электрическое сопротивление тела человека при прохождении через него тока состоит из внутреннего сопротивления, которое может иметь и малые значения — примерно 1000 Ом (и ниже), и сопротивлений на входе и выходе тока, т. е. двух сопротивлений кожи. Основное сопротивление создает верхний роговой слой кожи. При неповрежденной, т. е. без царапин и трещин, сухой коже тело человека благодаря верхнему роговому слою кожи имеет сопротивление в несколько тысяч и даже десятки тысяч ом, но уже при относительно небольшом напряжении электрического тока верхний тонкий роговой слой кожи может быть пробит и ее защитное свойство исчезает. Мокрая и потная кожа, наличие царапин и других повреждений рогового слоя значительно снижают, а то и вовсе уничтожают защитные свойства кожи. При этом остается только внутреннее сопротивление тела человека.

Сопротивление прохождению тока через тело человека зависит еще от многих других условий, в частности от размера поверхности прикосновения и характера его (плотный охват или случайное кратковременное прикосновение) и ряда других факторов.

Величина тока, проходящего через тело человека, зависит не только от сопротивления тела человека, но и от сопротивления всей электрической цепи, в которую попадает человек. Это будет пояснено в дальнейшем.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Один и тот же ток воздействует на разных людей в разной степени (например, по-разному на мужчин и женщин), а также различно на одного и того же человека в зависимости от его состояния в момент поражения. При значении тока, проходящего через тело человека, 15—18 мА (миллиампер) самостоятельное освобождение **(отпускающий ток)** вследствие судороги возможно только с крайним напряжением. Токи около 25—30 мА уже могут быть опасными для жизни и вызывать паралич дыхания. Известны случаи смертельных поражений и при более низких значениях тока.

При поражениях электрическим током и значении тока в несколько десятков миллиампер могут возникать крайне опасные беспорядочные сокращения волокон сердечной мышцы **(фибрилляция)** и прекращение кровообращения. Фибрилляцию можно устранить подачей с помощью прибора — дефибриллятора кратковременного импульса (разряд конденсатора) тока значительной величины (20—40 А) при напряжении до 6 кВ. Токи большой величины вызывают одновременное возбуждение всех волокон сердечной мышцы и восстановление сердечной деятельности. Применять дефибрилляцию имеют право только врачи.

То, что сказано выше о воздействии на человека токов разной величины, относилось к длительному прохождению тока через тело человека. При кратковременных воздействиях, в частности при длительности менее 1 с, токи, недопустимые при длительном прохождении, не столь опасны (с вероятностью 99,5%).

В нормах Советского Союза при напряжениях установок до 35 кВ принимаются допустимыми токи через тело человека i, мА, при времени воздействия t, с, определяемые произведением $it=50$. Так, например, допустим ток 50 мА в течение 1 с или 250 мА в течение 0,2 с.

На использовании малого времени отключения (0,05—0,2 с) основана защитная мера — защитное отключение (см. § 7).

Постоянный ток менее опасен, чем переменный. При напряжении до 250 В граничные значения (так называемые пороговые значения) допустимых токов повышаются примерно в 2—3 раза. При более высоких напряжениях опасность постоянного и переменного токов становится равной.

Поражение электрическим током можно разделить на три основных вида:

поражения вследствие недопустимого приближения к частям, находящимся под напряжением; в результате такого приближения может возникнуть дуга через тело человека и, как следствие, ожоги;

поражения вследствие прикосновения к частям, находящимся под напряжением, а также к металлическим частям электрических установок или к корпусам электроприемников, оказавшимся под напряжением в результате повреждения электрической изоляции;

поражения, вызванные так называемым «напряжением шага», т. е. разностью напряжений, возникающих на поверхности земли, вблизи мест повреждения электрической изоляции или мест замыкания токоведущих частей на землю.

Иногда на теле пострадавших появляются так называемые «электрические знаки». Эти знаки в большинстве случаев представляют собой запекшиеся или обуглившиеся места, возникающие при прохождении относительно больших токов через малые поверхности.

Поражения и травмы от электрического тока могут произойти под воздействием напряжений разной величины. Большинство несчастных случаев происходит при наиболее распространенных напряжениях 380 и 220 В (вольт), с которыми часто имеют дело люди, не имеющие специальной подготовки. Известны случаи поражения при напряжении 65 В (при электросварке). Были случаи поражений и при более низких напряжениях.

Из сказанного не следует делать вывод, что принятые в Советском Союзе при повышенной и особой опасности напряжения 42* (36) и 12 В непригодны для этих условий. Поражения при этих напряжениях (при условии соблюдения мер безопасности) могут наступить лишь при сочетании особо неблагоприятных условий и обстоятельств, вероятность которых мала. Таким образом, **осторожное обращение с электрическими устройствами требуется всегда.**

Особенность электротравматизма заключается в том,

* Напряжение 42 В принято в новой редакции ПУЭ вместо 36 В согласно международным стандартам.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

что поражения электрическим током дают смертельный исход чаще, чем другие несчастные случаи, а также в том, что случай, закончившийся сравнительно благополучно, может отразиться на здоровье пострадавшего в дальнейшем.

В ряде случаев поражения электрическим током может наступить так называемая «мнимая смерть» — состояние, когда нет дыхания и нет признаков работы сердца, но когда в течение некоторого времени после поражения путем применения мер оживления может быть восстановлена деятельность легких и сердца. Самое главное в таких случаях — незамедлительное применение методов оживления. Задержка на несколько минут может быть причиной гибели пострадавшего. Неудача оживления во многих случаях была следствием запоздалого или неправильного применения метода оживления, а также преждевременного его прекращения.

В последние годы в СССР и за рубежом получили широкое признание более надежные, чем ранее применявшиеся, методы оживления: метод искусственного дыхания «рот в рот» или «рот в нос» и наружный массаж сердца (ритмические сжатия), способствующий поступлению крови в сосуды при остановке деятельности сердца. Эти методы надо применять немедленно, не дожидаясь прибытия врача.

2. Как работает сеть трехфазного тока с изолированной нейтралью. Однофазные замыкания на землю.

Прежде всего напомним, что сети могут работать с изолированной или заземленной нейтралью трансформаторов и генераторов. В Советском Союзе сети 6, 10 и 35 кВ работают с изолированной нейтралью трансформаторов. Сети 660, 380 и 220 В могут работать как с изолированной, так и с заземленной нейтралью; наиболее распространены четырехпроводные сети 380/220 и 220/127 В, которые в соответствии с требованиями ПУЭ должны иметь заземленную нейтраль.

Рассмотрим вначале сети с изолированной нейтралью. На рис. 1, *а* изображена схема такой сети трехфазного тока[1]. Обмотка изображена соединенной в звезду, однако все сказанное ниже относится также и к случаю соединения вторичной обмотки в треугольник.

Как бы хороша ни была в целом изоляция токоведущих частей сети от земли, все же проводники сети имеют всегда связь с землей. Связь эта двоякого рода.

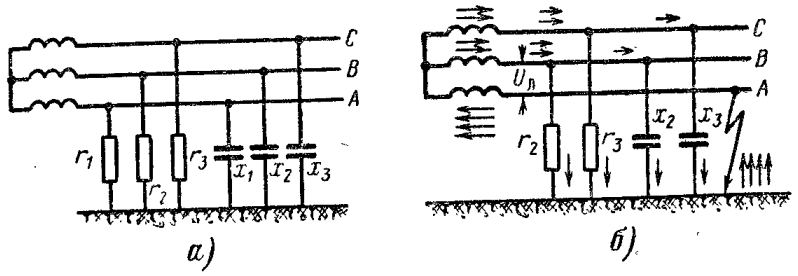


Рис. 1. Схема сети трехфазного тока с изолированной нейтралью (*а*). Замыкание на землю в сети с изолированной нейтралью (*б*).

1. Изоляция токоведущих частей имеет определенное сопротивление (или проводимость) по отношению к земле, обычно выражаемое в мегомах. Это означает, что через изоляцию проводников и землю проходит ток некоторой величины. При хорошей изоляции этот ток весьма мал. Допустим, например, что между проводником одной фазы сети и землей напряжение равно 220 В, а измеренное мегомметром сопротивление изоляции этого провода равно 0,5 МОм. Это значит, что ток на землю этой фазы равен $\frac{220}{0{,}5 \cdot 1\,000\,000} = 0{,}00044$ А или 0,44 мА. Этот ток называется **током утечки**.

Условно для наглядности на схеме сопротивления изоляции трех фаз r_1, r_2, r_3 изображаются в виде сопротивлений, присоединенных каждое к одной точке провода. На самом деле токи утечки в исправной сети распределяются равномерно по всей длине проводов; в каждом участке сети они замыкаются через землю и их сумма (геометрическая, т. е. с учетом сдвига фаз) равна нулю.

2. Связь второго рода образуется емкостью проводников сети по отношению к земле. Как это понимать?

[1] Здесь и далее для простоты показана только вторичная обмотка трансформатора. Она же изображает обмотку генератора.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Каждый проводник сети и землю можно представить себе как две обкладки протяженного конденсатора. В воздушных линиях проводник и земля — это как бы обкладки конденсатора, а воздух между ними — диэлектрик. В кабельных линиях обкладками конденсатора являются жила кабеля и металлическая оболочка, соединенная с землей, а диэлектриком — изоляция. При переменном напряжении изменение зарядов конденсаторов вызывает возникновение и прохождение через конденсаторы переменных токов. Эти так называемые емкостные токи в исправной сети равномерно распределены по длине проводов и в каждом отдельном участке также замыкаются через землю. На рис. 1, *а* сопротивления емкостей трех фаз на землю x_1, x_2, x_3 условно показаны присоединенными каждое к одной точке сети. Чем больше длина сети, тем большую величину имеют токи утечки и емкостные токи.

Посмотрим, что же произойдет в изображенной на рис. 1, *а* сети, если в одной из фаз (например, *А*) произойдет **замыкание на землю**, т. е. провод этой фазы будет соединен с землей через относительно малое сопротивление. Такой случай изображен на рис. 1, *б*. Поскольку сопротивление между проводом фазы *А* и землей мало, сопротивления утечки и емкости на землю этой фазы шунтируются сопротивлением замыкания на землю. Теперь под воздействием линейного напряжения сети $U_л$ через место замыкания и землю будут проходить токи утечки и емкостные токи двух исправных фаз. Пути прохождения тока показаны стрелками на рисунке.

Замыкание, показанное на рис. 1, *б*, называется **однофазным замыканием на землю**, а возникающий при этом аварийный ток — ток однофазного замыкания.

Представим себе теперь, что однофазное замыкание вследствие повреждения изоляции произошло не непосредственно на землю, а на корпус какого-нибудь электроприемника — электродвигателя, аппарата, либо на металлическую конструкцию, по которой проложены электрические провода (рис. 2). Такое замыкание называется **замыканием на корпус**. Если при этом корпус электроприемника или конструкция не имеют связи с землей, тогда они приобретают потенциал фазы сети или близкий к нему. Прикосновение к корпусу равносильно прикосновению к фазе. Через тело человека, его обувь, пол, землю, сопротивления утечки и емкостные сопротивления исправных фаз образуется замкнутая цепь (для простоты на рис. 2 емкостные сопротивления не показаны). Ток в этой цепи замыкания зависит от ее сопротивления и может нанести человеку тяжелое поражение или оказаться для него смертельным.

Из сказанного следует, что для прохождения тока через землю необходимо наличие замкнутой цепи (иногда представляют себе, что ток «уходит в землю» — это неверно).

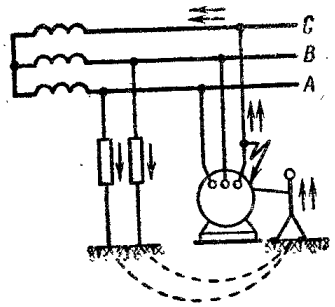


Рис. 2. Замыкание на корпус в сети с изолированной нейтралью.

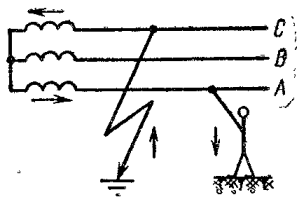


Рис. 3. Прикосновение человека к проводнику в сети с изолированной нейтралью при наличии в сети замыкания на землю.

В сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В токи утечки и емкостные токи обычно невелики. Они зависят от состояния изоляции и длины сети. Даже в разветвленной сети они находятся в пределах нескольких ампер и ниже. Поэтому эти токи, как правило, недостаточны для расплавления плавких вставок или отключения автоматов. При напряжениях выше 1000 В основное значение имеют емкостные токи, они могут достигать нескольких десятков ампер (если не предусмотрена их компенсация). Однако в этих сетях отключение поврежденных участков при однофазных замыканиях обычно не применяется, чтобы не создавать перерывов в электроснабжении.

Таким образом, в сети с изолированной нейтралью при наличии однофазного замыкания (о чем сигнализируют приборы контроля изоляции) продолжают рабо-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

тать электроприемники. Это возможно, так как при однофазных замыканиях линейное (междуфазное) напряжение не изменяется и все электроприемники получают энергию бесперебойно. Но при всяком однофазном замыкании в сети с изолированной нейтралью напряжения неповрежденных фаз по отношению к земле возрастают до линейных, а это способствует возникновению второго замыкания на землю в другой фазе. Образовавшееся двойное замыкание на землю создает серьезную опасность для людей (см. пример 1 в § 3). Следовательно, *любая сеть с наличием в ней однофазного замыкания должна рассматриваться как находящаяся в аварийном состоянии, так как общие условия безопасности при таком состоянии сети резко ухудшаются.*

Так, наличие «земли» увеличивает опасность поражения электрическим током при прикосновении к частям, находящимся под напряжением. Это видно, например, из рис. 3, где показано прохождение тока поражения при случайном прикосновении к токоведущему проводу фазы *A* и неустраненной «земле» в фазе *C*. Человек при этом оказывается под воздействием линейного напряжения сети. Поэтому однофазные замыкания на землю или на корпус должны устраняться в кратчайший срок.

3. Восемь защитных мер электробезопасности. Защитные средства

Для защиты от поражения электрическим током при замыканиях на корпус применяются меры, которые будем называть защитными мерами электробезопасности. Их восемь: 1) заземление, 2) зануление, 3) выравнивание потенциалов, 4) малые напряжения, 5) изоляция, 6) защитное отключение, 7) разделяющие трансформаторы, 8) ограждения.

В известной степени к защитным мерам можно отнести еще непрерывный контроль изоляции (см. § 18). Целям улучшения безопасности служат еще индивидуальные защитные средства и приспособления.

В этом параграфе рассмотрим часть защитных мер: заземление, малые напряжения, изоляцию и ограждения. Остальные защитные меры рассмотрим позже.

Заземление

Заземление — одна из основных и старейших защитных мер. При этой защитной мере все металлические корпуса электроприемников, металлические конструкции и т. п., которые могут оказаться из-за повреждения изоляции под опасным напряжением, должны быть заземлены, т. е. преднамеренно соединены с землей. В чем смысл такого соединения?

Как видно из рис. 4, при наличии заземления человек, прикасающийся к заземленному корпусу, оказавшемуся под напряжением, присоединен параллельно цепи замыкания на участке между корпусом и землей.

Назначение защитного заземления заключается в том, чтобы создать между корпусом защищаемого устройства и землей электрическое соединение с достаточно малым сопротивлением для того, чтобы в случае замыкания на корпус этого устройства прикосновение к этому корпусу человека (параллельное присоединение) не могло вызвать прохождение через его тело тока такой величины, которая угрожала бы жизни или здоровью. Отсюда следует, что *для обеспечения безопасности пригодно не всякое соединение с землей, а только имеющее достаточно малое сопротивление*, во всяком случае во много раз меньшее, чем сопротивление тела человека. Тогда основная часть тока замыкания будет проходить через землю, а ток, проходящий через тело человека, будет мал, и опасность прикосновения к заземленному корпусу не возникнет. Требуемые ПУЭ сопротивления заземлений приведены в § 11.

Надо иметь в виду, что выполнить заземление настолько малого сопротивления, чтобы ток через тело человека не был опасным, возможно не всегда. Например, в установках напряжением 110 кВ (киловольт) токи замыкания на землю достигают больших величин — до 30 кА (килоампер); тогда в цепи человек — земля токи могут достигать опасных величин.

Чтобы этого избежать, применяется дополнительно еще одна защитная мера — выравнивание потенциалов (см. § 5).

Соединение заземляемых частей электроустановки с землей осуществляется при помощи заземлителей и заземляющих проводников.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Заземлители — это металлические проводники-электроды — уголки, стержни, полосы, некондиционные трубы, располагаемые в земле в определенном количестве и порядке. **Заземляющие проводники** соединяют заземляемые части электроустановок с заземлителями. В целом заземляющие проводники и заземлители образуют **заземляющее устройство.**

Теперь, когда мы знаем, что такое заземление, мы можем на примере уяснить, какое значение имеет со-

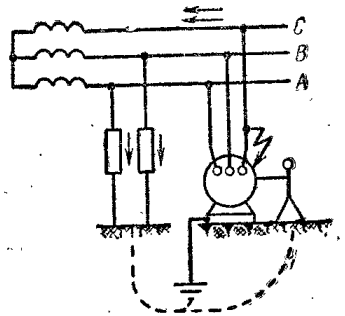


Рис. 4. Заземление электроприемника.

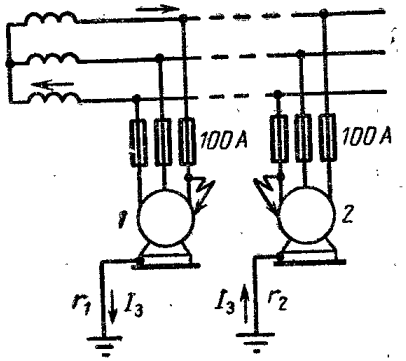


Рис. 5. Двойное замыкание на землю в сети с изолированной нейтралью.

противление связи с землей и насколько могут быть опасны двойные замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.

Пример. Допустим, что в сети 380 В, питающейся от одного трансформатора, произошли два замыкания на корпус в удаленных одна от другой установках (рис. 5). Сопротивления заземляющих устройств установок: $r_1 = 1{,}5$ Ом; $r_2 = 4$ Ом. Вставки предохранителей (или номинальные токи расцепителей) на аварийных линиях имеют номинальный ток 100 А. В цепи замыкания через землю действует линейное напряжение 380 В. Ток замыкания, если пренебрегать малыми сопротивлениями земли и проводов, равен:

$$I_з = \frac{U}{r_1 + r_2} = \frac{380}{5{,}5} = 69 \text{ А},$$

т. е. вставки предохранителей в обеих установках не расплавятся.

Линейное напряжение 380 В распределится пропорционально сопротивлениям r_1 и r_2. Напряжение по отношению к земле на заземленных частях установки *1* $I_з r_1 = 69 \cdot 1{,}5 = 104$ В будет достаточно опасным. Напряжение на заземленных частях установки 2 $I_з r_2 = 69 \cdot 4 = 276$ В, т. е. крайне опасное.

Если же заземляющие устройства установок *1* и *2* связаны между собой металлическими оболочками кабелей, трубопроводами, тогда при двойном замыкании образуется цепь короткого замыкания и обе установки или одна из них будут отключены защитой.

Мы рассмотрели назначение защитных заземляющих устройств. В электрических установках имеются и другие заземления, которые необходимы по условиям эксплуатации, например заземления разрядников, заземление одного полюса в тяговых сетях и др. В отличие от защитных они называются рабочими заземлениями.

Малые напряжения

Малыми напряжениями считаются в Советском Союзе 42 (36) и 12 В. Эти напряжения применяются для переносных электроприемников, местного и ремонтного освещения и т. п. Напряжение 12 В применяется в особо опасных условиях — при работе внутри металлических резервуаров, котлов, на металлоконструкциях и т. п. Вторичная обмотка трансформаторов напряжением 42 (36) и 12 В в соответствии с требованиями ПУЭ заземляется. Это делается для обеспечения безопасности в случае повреждения изоляции трансформатора с переходом напряжения сети на сторону 42 или 12 В.

Малые напряжения могут применяться только при небольшой мощности электроприемников, так как с ростом мощности возрастают токи, в связи с чем при малых напряжениях потребовались бы крупные сечения проводов, т. е. утяжеление и удорожание электроприемников и сетей.

Изоляция

Изоляция от земли служит для обеспечения безопасности, например при использовании изолирующих от земли площадок при ремонтных работах и обслуживании оборудования, корпуса которого (например, ртутные выпрямители) или токоведущие части находятся под напряжением.

Начинает применяться все более широко **двойная изоляция.** Существо этой защитной меры заключается в следующем. Каждый электроприемник имеет основную

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

изоляцию токоведущих частей от его корпуса, соответствующую его назначению и конструкции, а для обеспечения безопасности кроме основной применяется дополнительная изоляция корпуса и других металлических частей, которые могут оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции. Двойную изоляцию можно получить выполняя, например, корпус электроприемника — электроинструмента, аппарата и любого другого устройства из изолирующих материалов. Рукоятки управления, рабочая часть инструмента должны быть при этом связаны с частями, несущими обмотку, через промежуточные изолирующие детали (рис. 6).

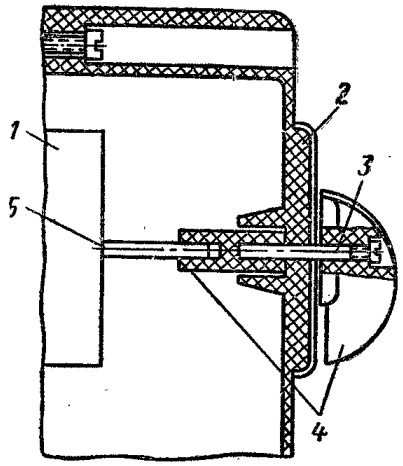


Рис. 6. Двойная изоляция рукоятки аппарата.

1 — контактная часть; *2*—корпус; *3*—металл; *4* — изоляционный материал; *5* — металлическая ось.

При двойной изоляции электроприемника заземление или зануление металлических частей запрещается во избежание шунтирования дополнительной изоляции. Состояние изоляции должно периодически проверяться.

Ограждения

Как показывает статистика, многие случаи поражения электрическим током происходят вследствие прикосновения к частям, находящимся под напряжением. Снижения травматизма по этой причине можно достигнуть с помощью надежных ограждений. К этой защитной мере относятся: выполнение аппаратов и приборов в закрытых корпусах, применение закрытых комплектных устройств, надежные ограждения и т. п. Во многих случаях они снабжаются блокировками, не допускающими снятия корпусов или ограждений, если предварительно не отключено напряжение.

К сожалению, бывают все же случаи, когда обслуживающий персонал нарушает блокировки, не ставит на место снятые ограждения. Такая небрежность была причиной многих несчастных случаев.

Важное замечание. Каждая из перечисленных выше защитных мер и остальные, описанные в дальнейшем, имеют свою область применения. В некоторых случаях применяются одновременно две защитные меры. Необходимо все же помнить, что ни одна из защитных мер сама по себе не дает полной гарантии безопасности. Поэтому самой главной гарантией безопасности всегда остается соблюдение всех правил обращения с электрическими устройствами. Нарушение этих правил, небрежность, спешка — основные причины электротравматизма.

В одном хозяйстве опытный электрик, заменяя неисправный дроссель люминесцентной лампы, находившейся под крышей картофелехранилища, перепутал фазный и нулевой провода. Не проверив правильность выполненной работы, он послал работавшего с ним ученика (своего сына) почистить светильник с подъемной платформы. При прикосновении к корпусу светильника, оказавшемуся под напряжением, юноша был поражен током.

Защитные средства

В дополнение к защитным мерам обеспечению электробезопасности способствуют защитные средства. Защитными средствами называются приборы, аппараты, приспособления и устройства, в основном переносные, предназначенные наряду с защитными мерами для защиты персонала, обслуживающего электроустановки, от поражения электрическим током. К ним относятся:

изолирующие оперативные штанги, изолирующие клещи для операций с предохранителями, указатели напряжения, изолирующие измерительные штанги, токоизмерительные клещи;

изолирующие лестницы и площадки, изолирующие

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

тяги, захваты, инструмент с изолированными рукоятками;

резиновые диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки, изолирующие колпаки и накладки;

переносные заземления, временные ограждения, предупреждающие плакаты;

защитные очки, предохранительные пояса, страхующие канаты и др.

Применение тех или иных защитных средств в эксплуатации и при ремонтах устанавливается правилами техники безопасности и специальными инструкциями.

Из приведенного (неполного) перечня защитных средств можно видеть, какие важные и ответственные функции возлагаются на защитные средства. Поэтому они должны находиться под постоянным контролем и учетом и быть в исправном состоянии. При приемке в эксплуатацию они должны быть проверены независимо от заводского испытания, а в процессе эксплуатации должны подвергаться периодическим контрольным осмотрам, электрическим и механическим испытаниям в сроки и по нормам, указанным в ПТБ потребителей.

4. Растекание тока в земле

Допустим, что в земле в точке *О* (рис. 7) находится один электрод в виде уголка или стержня и через этот электрод проходит ток замыкания на землю. Вокруг электрода образуются электрическое поле и зона повышенных потенциалов, а на самом электроде в результате прохождения через него тока возникает напряжение по отношению к земле $U_з$. Под «землей» в данном случае следует понимать достаточно удаленные от электрода зоны в земле, в которых не сказывается влияние проходящего через него тока; они называются **зонами «нулевого потенциала»**.

Если измерять напряжения между точками, находящимися на разных расстояниях в любом направлении от электрода и удаленной землей, а затем построить график зависимости от этих напряжений от расстояния до электрода, то получится кривая *1*, изображенная на рис. 7. Эта кривая одновременно изображает распределение потенциалов точек земли φ_x на разных

расстояниях от электрода. Из кривой *1* рис. 7 видно, что напряжения по отношению к удаленной земле всех точек (или потенциалы этих точек), расположенных вокруг одиночного электрода на расстояниях, примерно больших 20 м, близки к нулю. Причина этого явления заключается в том, что объем земли, через который про-

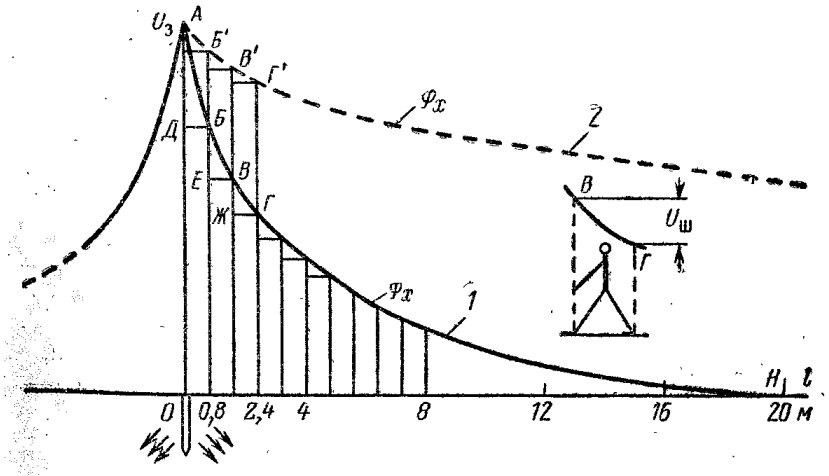


Рис. 7. Напряжения по отношению к земле на различных расстояниях от электрода и напряжение шага.

ходит ток замыкания на землю, по мере удаления от заземлителя быстро увеличивается; при этом происходит растекание тока в земле. На расстоянии примерно 20 м и более от электрода объем земли настолько возрастает, что плотность тока становится весьма малой; напряжения между точками земли и точками, еще более удаленными, не обнаруживаются сколько-нибудь ощутимо.

Заземлителями обычно служат не одиночные электроды, а группы их, соединенные между собой металлической полосой или круглой сталью. В этом случае распределение потенциалов (кривая *2* на рис. 7) имеет более пологий характер. Поэтому напряжения тех же точек земли по отношению к удаленной земле и потенциалы этих точек будут выше, чем при одном электроде, и распространяются они на расстояния более 20 м. Чем сложнее заземлитель и чем бо́льшую территорию он занимает, тем дальше распространяется влияние его электриче-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

ского поля и тем дальше от него находится зона нулевого потенциала.

Сопротивление, которое оказывает току земля в зоне растекания тока в земле, называется **сопротивлением растеканию заземлителя.** Его сокращенно называют сопротивлением заземлителя (не следует смешивать с сопротивлением заземлителя как проводника).

Сопротивление заземляющего устройства состоит из: 1) сопротивления растеканию заземлителя, в которое входит также сопротивление контакта между заземлителем и землей; сопротивление этого контакта составляет незначительную часть сопротивления растеканию заземлителя, даже наличие на стальном заземлителе некоторого слоя окиси (ржавчины) не оказывает существенного влияния на его сопротивление растеканию; 2) сопротивления заземляющих проводников, соединяющих заземляемое оборудование или конструкцию с заземлителем.

Обозначим сопротивление заземляющего устройства через $R_з$, Ом, а ток однофазного замыкания через $I_з$, А; тогда напряжение заземляющего устройства (т. е. заземлителя и заземляющих проводников) по отношению к земле при однофазном замыкании будет равно произведению $I_з R_з = U_з$, В. Если, например, ток в цепи замыкания равен 15 А, а сопротивление заземляющего устройства 4 Ом, то напряжение по отношению к земле $U_з$ равно $15 \cdot 4 = 60$ В. По существу $U_з$ — это падение напряжения на заземляющем устройстве с сопротивлением $R_з$ при прохождении через него тока замыкания $I_з$.

5. О напряжении шага и напряжении прикосновения. Выравнивание потенциалов

Кривые *1* и *2* на рис. 7 дают распределение напряжений по отношению к земле в зоне растекания тока замыкания на землю (точки *А*, *Б*, *В*, *Г* и т. д.), а отрезки *АД*, *БЕ*, *ВЖ* и т. д. дают разности напряжений между этими точками. Таким образом, если разбить линию *ОН* (точка *О* соответствует месту расположения заземлителя) на участки длиной 0,8 м, что соответствует длине шага человека, то ноги его могут оказаться в точках разного потенциала. Чем ближе к заземлителю, тем напряжения между этими точками на земле будут больше (*АД* больше, чем *БЕ*, *БЕ* больше, чем *ВЖ*, и т. д.). Через тело человека, если он находится в зоне растекания тока, через его ноги и корпус может проходить ток, величина которого может оказаться опасной.

Напряжение, воздействию которого в подобном случае может подвергаться человек, называется **напряжением шага** $U_ш$. На рис. 7 справа показано в увеличенном масштабе напряжение шага, когда ноги человека пере-

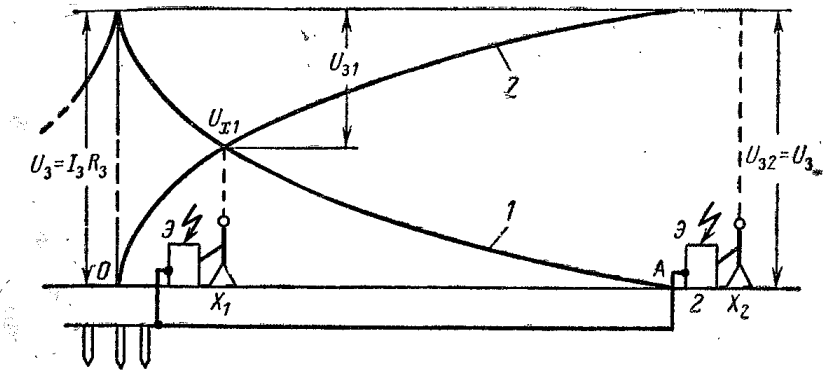


Рис. 8. Напряжения прикосновения в зоне растекания тока замыкания на корпус.

крывают участок, соответствующий точкам *В* и *Г* кривой. Опасное напряжение шага может возникнуть вблизи упавшего на землю и находящегося под напряжением провода. Такие случаи особо опасны для крупных животных — лошадей, коров, так как (помимо других причин) шаг их значительно больше шага человека.

При падении провода на землю необходимо отключать аварийную линию (если она не отключилась автоматически защитой), а до того не допускать приближения людей и животных к месту падения провода.

Если человек прикасается к корпусу электроприемника с поврежденной изоляцией (рис. 8), он в свою очередь оказывается под напряжением по отношению к земле. Та часть напряжения, которое окажется на теле человека в цепи замыкания, называется напряжением прикосновения ($U_т$).

Необходимо выяснить, как велика эта часть и от чего она зависит. Прежде всего она зависит от напряжения $U_з$, действующего в цепи замыкания, т. е. от величины

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

тока замыкания и сопротивления заземляющего устройства (см. § 4). Величина напряжения прикосновения зависит, кроме того, от ряда факторов:

1. Имеет значение, находится ли человек в зоне растекания тока замыкания, например в точке x_1 (рис. 8), или вне этой зоны — в точке x_2 и дальше.

Допустим, что характер распределения напряжений такой, как показано кривой *1* на рис. 8, и произошло замыкание на корпус электроприемника *Э*. Тогда на человека, находящегося в точке x_1, воздействует уже не все напряжение $U_з$, а только часть его $U_{з1}$, определяемая разностью напряжений по отношению к земле между $U_з$ и напряжением U_{x1} в точке поверхности, на которой стоит человек. Эта разность $U_{з1}$ равна:

$$U_{з1} = U_з - U_{x1}.$$

Если электроприемник и прикасающийся к нему человек находятся вне зоны растекания тока, например в точке x_2, тогда на человека воздействует уже все напряжение $U_з$. Таким образом, при замыкании на корпус в зоне растекания тока напряжение, воздействующее на человека, снижается по сравнению с величиной $U_з$. Степень снижения зависит от расстояния, на котором человек находится от заземлителя. На рис. 8 показана кривая *2* значений $U_з - U_x$, т. е. кривая напряжений, воздействующих на человека на разных расстояниях от заземлителя (в точке *O* это напряжение равно нулю, а в точке *2* полному напряжению на заземлителе).

2. Имеет значение характер кривой — крутой спад (кривая *1* на рис. 9) или пологий (кривая *2*). Напряжение шага и напряжение прикосновения будут иметь меньшие значения при пологом характере распределения напряжений по отношению к земле. Так (рис. 9), разность напряжений между точкой *O* на поверхности земли и точкой, отстоящей от нее на расстоянии 0,8 м, будет более благоприятной при распределении напряжений по кривой *2*, чем по кривой *1* (U''_x меньше, чем U'_x).

3. Ранее мы условились считать напряжением прикосновения напряжение на теле человека, т. е. напряжение после соприкосновения с какой-либо частью с поврежденной изоляцией. Чтобы его определить, необходимо рассмотреть участок цепи от места замыкания до земли. Допустим, что прикосновение происходит по схеме рука — ноги. На этом участке образуются две параллельные цепи (рис. 10): цепь *1* включает поврежденный электроприемник *Э* и заземляющее устройство с сопротивлением $R_з$, цепь *2* — сопротивление тела человека $R_т$ (обувь не учитывается) и последовательно с ним сопротивление $r_{в.с}$ поверхности, на которой человек стоит, т. е. сопротивление верхнего слоя под двумя ногами человека. Этим слоем может быть земля или пол

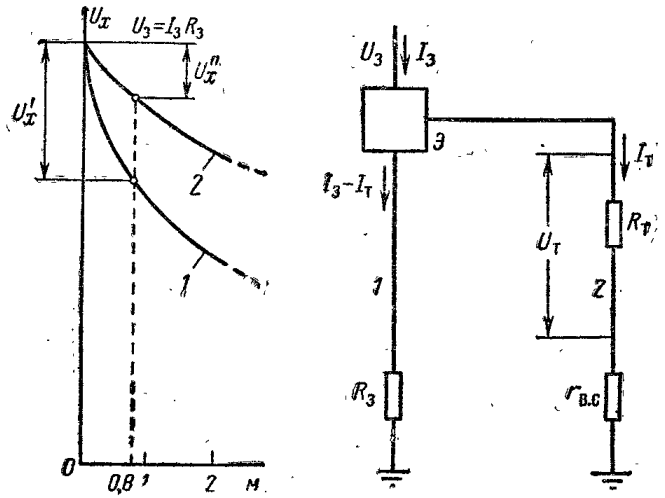


Рис. 9. Кривые распределения потенциалов в зоне растекания тока однофазного замыкания.

Рис. 10. Схема замещения для тока замыкания на корпус электроприемника.

разной проводимости — асфальтовый, цементный, металлический, покрытый полимером, земляной, он может быть сухим, влажным, сырым и т. д.

Таким образом, при однофазном замыкании ток замыкания распределяется между цепями *1* и *2* (рис. 10) обратно пропорционально их сопротивлениям, а напряжение $U_з$ в цепи *2* распределится пропорционально сопротивлениям $R_т$ и $r_{в.с}$. Итак, при однофазном замыкании в зоне растекания тока (например, в точке x_1 на рис. 8) напряжение на теле человека будет равно:

$$U_{т1} = U_з - U_{x1} - U_{в.с},$$

а при замыкании вне зоны растекания тока (например,

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

в точке x_2 на рис. 8) $U_{т2}=U_з-U_{в.с}$, где $U_{в.с}$ — падение напряжения в верхнем слое.

При высоком сопротивлении верхнего слоя, например при сухом асфальтовом покрытии (сопротивление в десятки и сотни килоом), на него придется основная часть напряжения, действующего в цепи *2*, а на тело человека (сопротивление ~1 кОм) — в десятки или сотни раз меньшая. Величина тока в цепи *2* может быть при этом неопасной.

Внимание! *Из сказанного нельзя делать вывод, что при высоком сопротивлении поверхности, например, покрытой асфальтом, можно безнаказанно прикасаться к частям, находящимся под напряжением; отнюдь нет — асфальт может иметь трещины, случайные вкрапления металла и потерять в отдельных местах свойства изоляции.*

При малом сопротивлении верхнего слоя его значение соответственно мало влияет на величину напряжения прикосновения. Наиболее опасный случай — если человек, прикасаясь к корпусу с поврежденной изоляцией, стоит непосредственно на сырой земле в сырой или подбитой гвоздями обуви или, еще хуже, вовсе без обуви.

4. Благоприятные условия создаются, если электрооборудование находится внутри промышленного здания, содержащего большое количество станков, машин, трубопроводов, металлоконструкций и т. д., которые в большей или меньшей степени связаны между собой и с корпусами электрооборудования. При замыкании на корпус в каком-либо из электроприемников все указанные части получают примерно близкое по величине напряжение по отношению к земле. В результате напряжение между корпусом электроприемника и полом существенно уменьшается, происходит **выравнивание потенциалов** по всей площади помещения. Благодаря выравниванию потенциалов тело человека, находящегося в цепи замыкания между корпусом электроприемника и полом, оказывается под сравнительно малым напряжением. Иными словами, напряжение прикосновения снижается до безопасной величины.

Степень выравнивания потенциалов зависит от того, насколько заполнено здание металлическими конструкциями и оборудованием, а также от конструкции здания; в железобетонных зданиях происходит наилучшее выравнивание потенциалов.

Фактор выравнивания потенциалов имеет первостепенное значение в обеспечении безопасности, и он по праву приобрел значение самостоятельной защитной меры. Во многих случаях добиться условий безопасности

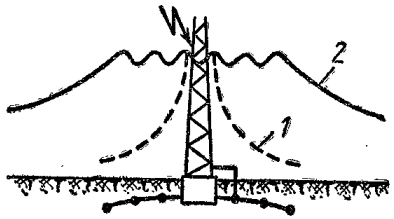


Рис. 11. Пример выравнивания потенциалов.

1 — кривая распределения потенциалов без выравнивания; *2* — то же с выравниванием.

без выравнивания потенциалов было бы невозможно. Это относится, например, к установкам 110—220 кВ, в которых токи однофазного замыкания достигают многих тысяч ампер. В этих установках для выравнивания потенциалов укладываются в землю стальные полосы в виде сетки на всей площади, занятой оборудованием.

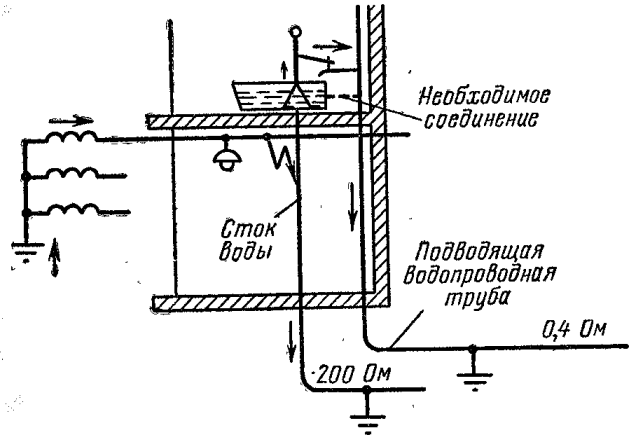


Рис. 12. Случай поражения при отсутствии выравнивания потенциалов.

Укладка выравнивающих потенциалы полос применяется в ряде случаев и в установках напряжением до 1000 В, например в помещениях для скота.

Известно (см. § 6), что отключение электроприемников с поврежденной изоляцией при системе зануления может происходить с затяжкой по времени до десятков

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

секунд. На всех корпусах и конструкциях, связанны с системой зануления, возникает при этом напряжени по отношению к земле. Только благодаря естественном выравниванию потенциалов в промышленных установка очень редки несчастные случаи, вызванные затяжкой от ключения.

На рис. 11 показан пример выравнивания потенциа лов при однофазном замыкании на металлическую опо ру. На рис. 12 дан другой пример, когда отсутствие вы равнивания потенциалов послужило причиной смертель ного поражения. Человек, стоящий в ванне, бы поражен током при прикосновении к водопроводной тру бе. Как оказалось, сточная труба из ванны случайн оказалась под напряжением из-за соприкосновения с не в нижнем этаже провода с поврежденной изоляцией Измерения показали, что водопроводная труба имеет со противление растеканию 0,4 Ом, сточная — 200 Ом. Есл бы имелось соединение корпуса ванны с водоподводящей трубой металлическим проводником, т. е. было бы вы полнено выравнивание их потенциалов, через тело чело века проходил бы ток ничтожной величины, определяе мый падением напряжения в соединительном провод нике. Соединение корпусов ванн с трубо водопровода введено в правила безопасности ка обязательное.

Изложенные выше в пп. 1—4 факторы приводят к снижению величин напряжений прикосновения и шага Это снижение оценивается коэффициентами напряжени прикосновения $k_п$ и шага $k_ш$, которые показывают, ка кую часть напряжения, действующего в цепи замыкани составляет действительное напряжение прикосновени $U_п$ или напряжение шага $U_ш$. Действительное напряже ние прикосновения равно:

$$U_п = k_п U_з \quad \text{или} \quad k_п = \frac{U_п}{U_з}.$$

а действительное напряжение шага

$$U_ш = k_ш U_з \quad \text{или} \quad k_ш = \frac{U_ш}{U_з}.$$

Коэффициенты $k_п$ и $k_ш$ всегда меньше единицы. Дей ствительные их значения могут быть определены измере ниями.

6. Четырехпроводные сети напряжением 660/380, 380/220 и 220/127 В имеют ряд особенностей. Зануление

В четырехпроводных сетях 660, 380 и 220 В в соответствии с требованиями ПУЭ применяется заземление нейтралей трансформаторов и генераторов.

Рассмотрим вначале трехпроводную сеть 660, 380 или 220 В с заземленной нейтралью. Такая сеть изображена на рис. 13. Если человек прикоснется к проводнику этой

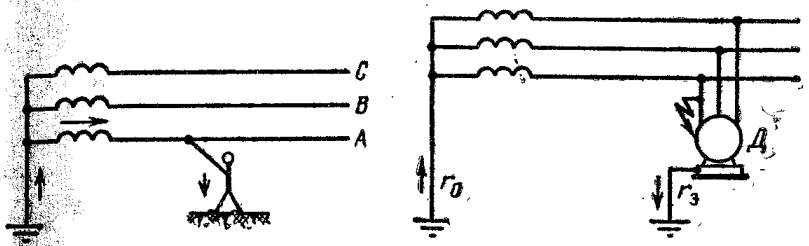


Рис. 13. Прикосновение человека к проводнику в сети с заземленной нейтралью.

Рис. 14. Заземление электроприемника без соединения с заземленной нейтралью трансформатора может оказаться опасным.

сети, то образуется цепь, по которой ток замыкается через тело человека, обувь, пол, землю, заземление нейтрали (см. стрелки). Из рисунка видно, что в цепи тока действует фазное напряжение $U_ф$. Такая же цепь образуется, если человек прикоснется к корпусу оборудования с поврежденной изоляцией. Однако выполнить заземление корпуса оборудования в такой сети таким же образом, как и при изолированной нейтрали (см. § 3), нельзя. Допустим, что такое заземление все же выполнено (рис. 14) и на установке произошло замыкание на корпус двигателя. Ток замыкания будет тогда проходить через два заземлителя — электроприемника $r_з$ и нейтрали r_0.

Фазное напряжение сети $U_ф$ распределится между заземлителями $r_з$ и r_0 пропорционально их величинам, т. е. чем больше сопротивление заземлителя, тем больше будет падение напряжения в нем. Сопротивления заземлителей $r_з$ и r_0 могут иметь разную величину. Если, на-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

пример, сопротивление $r_0=1{,}5$ Ом, $r_з=4$ Ом и $U_ф$ $=220$ В, то на сопротивлении $r_з$ будет $\frac{220\cdot 4}{1{,}5+4}=160$ В; на сопротивлении r_0 — $\frac{220\cdot 1{,}5}{1{,}5+4}=60$ В.

Таким образом, между корпусом поврежденного электродвигателя и землей возникает достаточно опасное напряжение. Человек, прикоснувшийся к корпусу, может быть поражен электрическим током. Если будет обратное соотношение сопротивлений, т. е. r_0 будет больше чем $r_з$, опасное напряжение может возникнуть между землей и корпусами оборудования, установленного вблизи трансформатора, если они имеют общее заземление с его нейтралью.

Безопасность могла бы быть обеспечена, если бы в результате замыкания на корпус произошло отключение (и при том достаточно быстрое) аварийного участка. Но отключение при такой системе во многих случаях получить невозможно. Так, например, при $r_0=1{,}5$ Ом а $r_з=4$ Ом ток замыкания равен: $\frac{220}{1{,}5+4}=40$ А.

При таком токе надежное и относительно быстрое отключение может произойти при плавкой вставке предохранителя с номинальным током не более 15 А. Это соответствует, например, предохранителям в цепи короткозамкнутого двигателя мощностью не выше 3 кВт.

По указанной причине в установках с заземленной нейтралью напряжением 660, 380 и 220 В применяется система защиты иного вида: все металлические корпуса и конструкции связываются электрически с заземленной нейтралью трансформатора через нулевой провод или специальный защитный проводник (при защите трехфазного двигателя — четвертый, как показано на рис. 15, при защите однофазного электроприемника — третий). Благодаря этому всякое замыкание на корпус превращается в короткое замыкание и аварийный участок отключается предохранителем или автоматом. Такая система называется **занулением.**

Таким образом, обеспечение безопасности при этой системе достигается путем соединения всех корпусов электроприемников с заземленной нейтралью трансформатора (или генератора) и благодаря этому отключению участка сети, в котором произошло замыкание на корпус.

Так же как не всякое заземление обеспечивает безопасность, так и не всякое зануление пригодно для обеспечения безопасности. Очевидно, зануление должно быть выполнено так, чтобы ток короткого замыкания в аварийном участке имел величину, достаточную для расплавления плавкой вставки ближайшего предохранителя или отключения ближайшего автомата. Для этого сопротивление цепи короткого замыкания должно быть достаточно малым.

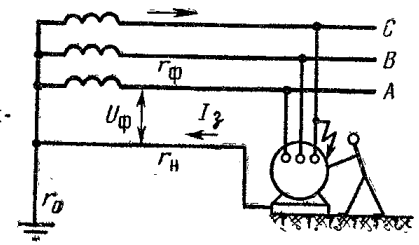


Рис. 15. Зануление электроприемника.

Это сопротивление имеет, таким образом, решающее значение в обеспечении отключения, т. е. в выполнении занулением своего назначения — отключения аварийного участка. Сопротивление цепи замыкания в сети с занулением условно называют **«сопротивлением цепи фаза — нуль».** В действительности (рис. 15) цепь замыкания состоит из питающего трансформатора, фазного провода и нулевого провода (или специального провода, прокладываемого для соединения корпусов оборудования с нейтралью трансформатора).

Может возникнуть вопрос, почему сказано «питающего трансформатора», а не «обмотки питающего трансформатора» (так иногда ошибочно пишут). Дело в том, что в сопротивление цепи замыкания входит трансформатор в целом со своей магнитной системой, а не только обмотка, что увеличивает его сопротивление. Сопротивление, которое оказывает трансформатор току замыкания, а значит и величина этого тока, зависят от схемы соединений его обмоток. Наибольшее сопротивление при однофазном замыкании имеют трехфазные трансформаторы со схемой соединений обмоток звезда — звезда с нулем, во

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

много раз меньшее — трансформаторы со схемами соединений обмоток треугольник — звезда или звезда — зигзаг. Эти последние поэтому и следует преимущественно применять, так как при этом ток замыкания будет выше, отключение надежнее и время отключения меньше.

Если сопротивление цепи замыкания велико, отключение произойдет с большой затяжкой по времени или вовсе не произойдет, ток замыкания будет длительно проходить по цепи замыкания, напряжение по отношению к земле будет сохраняться на поврежденном корпусе и на других корпусах, если они электрически с ним связаны сетью зануления, трубопроводами, оболочками кабелей и т. п. Это напряжение равно по величине произведению тока замыкания $I_з$ на сопротивление нулевого провода или защитного проводника $r_н$ (рис. 15), т. е. произведению $I_з r_н$. Оно может оказаться значительным по величине и, следовательно, опасным, особенно в местах, где отсутствует выравнивание потенциалов.

Для обеспечения отключения ПУЭ предъявляют два довольно жестких и подчас нелегко выполнимых требования к системе зануления.

Первое требование. Чтобы обеспечить надежное отключение необходимо, чтобы ток замыкания $I_з$ отвечал условию

$$I_з > kI_н,$$

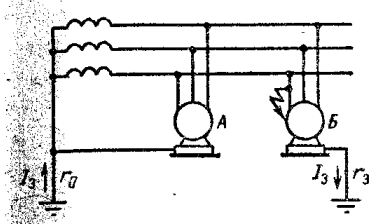
где $I_н$ — номинальный ток плавкой вставки или ток уставки расцепителя автомата; k — коэффициент кратности тока замыкания по отношению к току плавкой вставки или току уставки расцепителя автомата (чем больше кратность тока, тем меньше время отключения), равный:

не менее 3 при защите плавкими вставками или автоматами, имеющими расцепители с обратнозависимой от тока характеристикой (тепловыми);

не менее величины уставки тока мгновенного срабатывания, умноженной на коэффициент, учитывающий разброс по заводским данным, и коэффициент запаса 1,1 при автоматах, имеющих только электромагнитный расцепитель; при отсутствии заводских данных коэффициент k принимается равным 1,4 для автоматов до 100 А и 1,25 — для прочих;

во взрывоопасных установках: не менее 4 при защите предохранителями, не менее 6 при защите автоматами с обратнозависимой от тока характеристикой и аналогично предыдущему — при автоматах, имеющих только электромагнитный расцепитель.

Из сказанного можно сделать следующий вывод: в системе зануления ток замыкания желательно иметь по возможности бо́льшим, а номинальные токи плавких вставок и токи срабатывания автоматов по возможности меньшими.



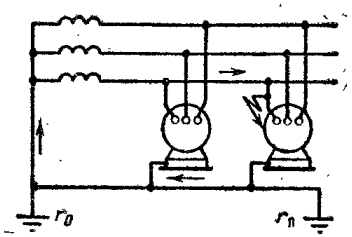


Рис. 16. Неправильное заземление электроприемника *Б*.

Рис. 17. Зануление электроприемников с одновременным повторным заземлением допустимо.

Второе требование касается выбора проводов в системе зануления. С ним мы ознакомимся в § 13.

Ранее (рис. 14) мы убедились, что в сети с заземленной нейтралью простое заземление корпуса электроприемника без соединения с нейтралью может служить причиной поражения. По тем же причинам нельзя применять и схему, показанную на рис. 16, где у одного из электроприемников *Б* выполнено только заземление без соединения с нейтралью. Такое заземление имеет тот же недостаток, как и схема на рис. 14.

Не надо, однако, понимать это так, что если выполнено соединение корпусов электроприемников с нейтралью, то те же электроприемники нельзя, якобы, одновременно заземлять. Такой вывод был бы неверным. На рис. 17 видно, что соединение корпуса с нейтралью и заземление того же электроприемника нисколько не нарушают действия зануления и не приводят к ухудшению безопасности. Наоборот, условия безопасности в такой схеме даже улучшаются, так как

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

в случае замыкания на корпус дополнительное заземление уменьшает напряжение по отношению к земле на аварийном корпусе. Такое дополнительное заземление называется **повторным заземлением нулевого провода**, но требуется оно не во всех случаях.

Повторные заземления обеспечивают также определенное улучшение безопасности в случае обрыва нулевого провода на воздушных линиях. Рассмотрим это положение несколько подробнее.

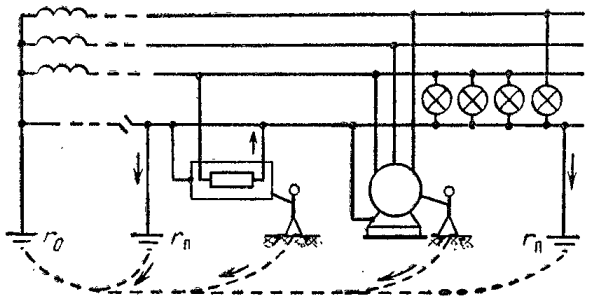


Рис. 18. Обрыв нулевого провода и повторные заземления $r_п$.

Нулевой провод вследствие неравномерности нагрузки фаз может иметь и в нормальной эксплуатации на отдельных участках некоторое напряжение по отношению к земле. Положение осложняется при обрыве нулевого провода, так как все электроприемники, находящиеся за местом обрыва, теряют непосредственную связь с нейтралью трансформатора, т. е. переходят на режим с заземлением электроприемников вместо зануления, причем заземлителями служат повторные заземления нулевого провода. О недостатках такого режима мы говорили при рассмотрении схемы рис. 14.

При обрыве нулевого провода все однофазные нагрузки оказываются включенными последовательно с общим сопротивлением всех повторных заземлений $r_п$ (рис. 18). Если нагрузка однофазных электроприемников равномерна, тогда тока в цепи повторных заземлений нет, так как сумма токов трех фаз равна нулю; при этом ток в нулевом проводе проходит только на отдельных участках, где включены однофазные нагрузки.

Если же нагрузка однофазных электроприемников неравномерна, в особенности если одновременно произош-

ло однофазное замыкание на корпус за местом обрыва или сгорел предохранитель на одной фазе, образуется цепь (рис. 18): неравномерная нагрузка фаз — нулевой провод — повторные заземления нулевого провода — земля — нейтраль трансформатора. Поскольку части этой цепи включены последовательно, фазное напряжение распределяется пропорционально их сопротивлениям. На нулевом проводе, а также на всех зануленных

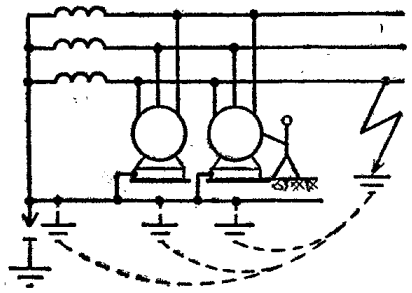


Рис. 19. Зануление в сети с изолированной нейтралью не допускается.

частях возникает напряжение по отношению к земле, равное падению напряжения на общем сопротивлении всех повторных заземлителей, т. е. произведению из тока неравномерной нагрузки $I_{н.н}$ на общее сопротивление повторных заземлений. Отсюда следует, что при обрыве нулевого провода напряжение на нем будет тем ниже, чем ниже общее сопротивление повторных заземлений за местом обрыва.

Сопротивления в цепи замыкания достаточно велики, и как правило, отключение замыканий на корпус за местом обрыва не происходит. Все же некоторая степень защиты благодаря повторным заземлениям и другим связям оборудования с землей сохраняется; ненормальный режим тотчас обнаруживается по горению ламп и должен безотлагательно устраняться.

Может возникнуть вопрос, **нельзя ли осуществить зануление также в сети с изолированной нейтралью** и тем самым получить отключение при замыканиях на корпус. Рассмотрим следующий пример.

В установке с трансформатором (рис. 19), имеющим изолированную нейтраль, выполнено зануление электроприемников. Корпуса электрооборудования и линии их зануления всегда в той или иной степени могут иметь

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

связи с землей. Эти связи создают также соединение нейтрали трансформатора с землей, но с величиной сопротивления, которая может оказаться много выше, чем требуется по условиям отключения. Поэтому с точки зрения безопасности такую установку следует вообще рассматривать как неудовлетворительную.

Допустим все же, что она выполнена. При замыкании одной из фаз на незаземленные части или непосредственно на землю отключения не произойдет. Приборы контроля изоляции покажут наличие «земли». Поскольку установка сохраняет свойства, характерные для установок с изолированной нейтралью (§ 2), напряжения исправных фаз по отношению к земле могут возрасти до близких к линейному, а напряжение нейтрали и всех зануленных частей — до близкого к фазному. Человек, касаясь совершенно исправного оборудования, подвергается воздействию этого напряжения. Такое положение может создаться не только при замыкании на землю, но и при значительном ухудшении изоляции одной из фаз по сравнению с другими. Следовательно, *применять зануление в сети с изолированной нейтралью нельзя.*

Глава вторая

НОВЫЕ ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ

7. Защитное отключение — перспективная защитная мера

Известно, что чем быстрее при однофазных замыканиях будет отключен аварийный участок сети, тем меньше опасность поражения. Как мы видели, в сетях с изолированной нейтралью однофазные замыкания обычно вовсе не отключаются при системе заземления. В сетях с заземленной нейтралью 660/380, 380/220 и 220/127 В и системой зануления отключение хотя и происходит, но время отключения во многих случаях велико, иногда доходит до десятков секунд, если ток замыкания мал или завышены токи плавких вставок предохранителей или токи срабатывания автоматов. Известно также, что многие случаи поражения электрическим током происходят при прикосновениях к частям, находящимся под напряжением. Системы заземления и зануления здесь ничем помочь не могут. Эти недостатки успешно устраняет система защитного отключения.

Защитным отключением называется защитная мера, обеспечивающая безопасность путем быстродействующего (время действия 0,1—0,2 с и ниже) отключения аварийного участка или сети

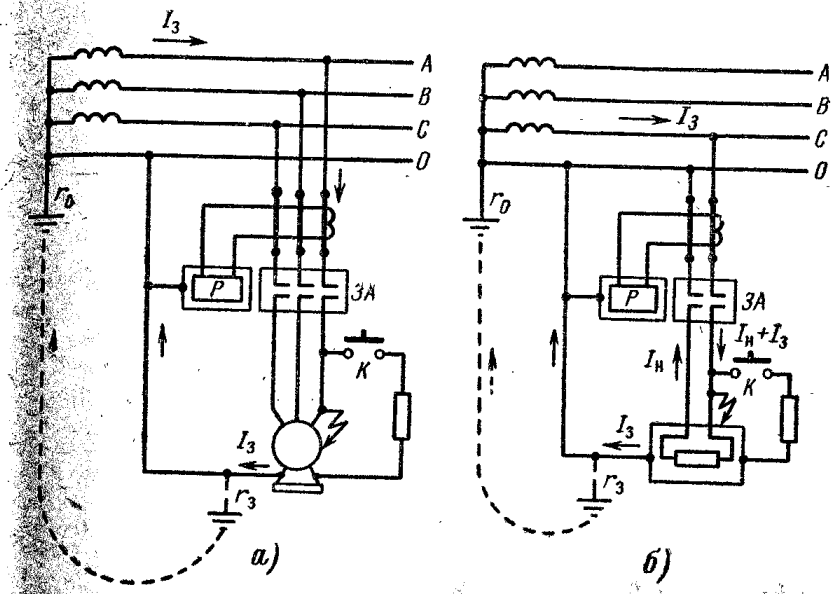


Рис. 20. Защитное отключение по току утечки в сети с заземленной нейтралью.

а — трехфазного электроприемника; *б* — однофазного электроприемника.

в целом при возникновении замыкания на корпус или непосредственно на землю, а также при прикосновении к частям, находящимся под напряжением. Благодаря высокой чувствительности (многие устройства защитного отключения имеют токи срабатывания 10—30 мА) устройства защитного отключения реагируют на снижение сопротивления и изоляции, когда токи утечки достигают уставки токов срабатывания, т. е. одновременно осуществляют контроль изоляции. Тем самым они успешно предотвращают возникновение пожаров. Эта защитная мера получает все большее признание и распространение

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

в сетях напряжением до 1000 В благодаря существенным преимуществам перед обычными системами заземления или зануления. Она особенно необходима в условиях, неблагоприятных с точки зрения возможности поражения электрическим током, например при пользовании переносным или передвижным электрооборудованием.

Существует достаточно большое количество схем и конструкций для защитных отключений. Рассмотрим принципиальную схему защитного отключения для сети с заземленной нейтралью (рис. 20).

В схеме применен суммирующий (дифференциальный) трансформатор тока специальной конструкции, ко вторичной обмотке которого присоединено реле *Р*. При равенстве токов трех фаз (рис. 20, *а*) их геометрическая сумма, как известно, равна нулю, поэтому тока во вторичной обмотке трансформатора тока нет. При однофазных замыканиях или утечках, а также прикосновении человека к фазному проводу равенство токов трех фаз в первичной обмотке нарушается, так как в одной из фаз проходит помимо тока нагрузки еще ток замыкания или утечки $I_з$. Во вторичной обмотке суммирующего трансформатора тока возникает ток. Если он равен или превышает ток срабатывания реле *Р*, то происходит отключение защищаемой линии защитным аппаратом *ЗА*, на который действует реле *Р*. Связь с нейтралью трансформатора осуществляется либо путем соединения корпуса электроприемника с нулевым проводом, либо непосредственным заземлением электроприемника (штриховая линия).

Действие схемы при защите однофазных электроприемников видно из рис. 20, *б*. В данном случае при нормальных условиях токи нагрузки $I_н$ в обоих проводах равны и прямо противоположны по направлению, поэтому во вторичной обмотке суммирующего трансформатора тока нет. При замыкании на корпус электроприемника или возникновении утечки тока в одной фазе равенство токов нарушается, к току нагрузки поврежденной фазы добавляется ток замыкания $I_з$ — во вторичной обмотке трансформатора тока проходит ток несимметрии. При достижении или превышении тока срабатывания реле *Р* происходит отключение поврежденной линии. Кнопка *К* (рис. 20, *а* и *б*) служит для проверки действия защиты.

Этот вид защитного отключения получил распространение в сетях с заземленной нейтралью как наиболее эффективный; преимущества его помимо упомянутых ранее — избирательность, т. е. отключение только аварийного участка, удешевление заземляющего устройства и зануляющих проводников; возможность работы даже при обрыве и отсутствии зануляющего проводника, если имеются какие-либо другие связи защищаемого оборудования с землей или нейтралью трансформатора; возможность применения совместно с системой зануления других электроприемников.

Сопротивление заземляющего устройства и защитного проводника определяется током срабатывания защиты и допустимым напряжением на корпусах защищаемого оборудования при токах замыкания ниже тока срабатывания. Принимая это напряжение равным 42 В и ток срабатывания, например, 30 мА, получим для сопротивления $r_з$ значение

$$r_з \leqslant \frac{42}{0{,}03} = 1400\ \text{Ом},$$

т. е. весьма высокое. Поэтому при применении защитного отключения устройство заземления упрощается и удешевляется.

Защита от коротких замыканий осуществляется предохранителями или автоматами. Автоматы могут находиться в одном корпусе с аппаратами защитного отключения. На описанном принципе работает защитно-отключающее устройство ЗОУП-25 для сетей с заземленной нейтралью, выпускаемое гомельским заводом «Электроаппаратура». Оно состоит из пускателя ПМЕ-236 с кнопками управления и блока чувствительной защиты. Последний содержит суммирующий трансформатор тока, трехкаскадный транзисторный усилитель, на выходе которого включено исполнительное реле, и стабилизированный узел питания. Технические данные устройства: номинальное напряжение 380 В, ток нагрузки 25 А, уставка защиты при однофазном замыкании 10 мА, время срабатывания защиты 0,05 с, потребляемая мощность не более 30 Вт; размеры 160×265×150, а в закрытом корпусе 290×173×155 мм; масса 4,5 кг.

Во многих случаях функции защитного отключения могут выполнять устройства контроля изоляции, если они удовлетворяют условиям, предъявляемым к защитному

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

отключению по быстродействию и высокой чувствительности, т. е. имеют ток срабатывания, который обеспечивает отключение как при снижении сопротивления изоляции, так и при прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением.

Приведем несколько примеров, характеризующих эффективность системы защитного отключения.

1. Женщина с мальчиком двух лет зашла вечером в комнату, где производился ремонт. Мальчик прислонился левой рукой к мокрым обоям, а правой коснулся штепсельной розетки, крышку которой маляр снял. Сработало защитное отключение, мальчик только заплакал, но никаких следов или травм не было.

2. Юноша 16 лет косил траву с помощью электрокосилки. Вращающийся нож случайно повредил кабель. При сворачивании кабеля юноша коснулся жилы; устройство защитного отключения сработало за время 0,1 с, и юноша остался невредим.

3. На строительной площадке рабочий, стоя на помосте, пытался электросверлилкой просверлить отверстие в стене. При включении напряжения сработало защитное отключение, что предотвратило несчастный случай. Причиной оказалось наличие напряжения 220 В на корпусе сверлилки.

4. В механической мастерской неожиданно сработало защитное отключение. Оказалось, что в штепсельной розетке скопилась проводящая пыль, давшая ток утечки.

5. В ФРГ в 1970 г. в одной установке были применены 133 устройства защитного отключения. После их включения было выявлено 43 дефекта в электроплитах и других электроприемниках и 17 неправильных включений. В другой установке с 285 устройствами после их включения были обнаружены 142 неисправности.

Приведенные примеры показывают, сколько тяжелых поражений может предотвратить система защитного отключения благодаря ее быстродействию.

8. Разделяющие трансформаторы имеют преимущество во многих случаях

Правила требуют заземления вторичных обмоток понижающих трансформаторов со вторичным напряжением 42 (36) и 12 В из-за опасности повреждения трансформатора при переходе высшего напряжения на сторону низшего. Такая схема (рис. 21) имеет и недостаток. Вспомним, что в случаях замыканий на корпус в первичной сети защитные проводники или нулевой провод получают некоторое напряжение по отношению к земле на время до отключения поврежденного участка. Но то же напряжение по отношению к земле получают все части, металлически соединенные с поврежденным корпусом, в том числе и вторичные обмотки и цепи малого напряжения. Это аварийное напряжение может значительно превышать напряжение 42 (36) или 12 В. Этот недостаток может быть устранен, если применить так называемые разделяющие трансформаторы.

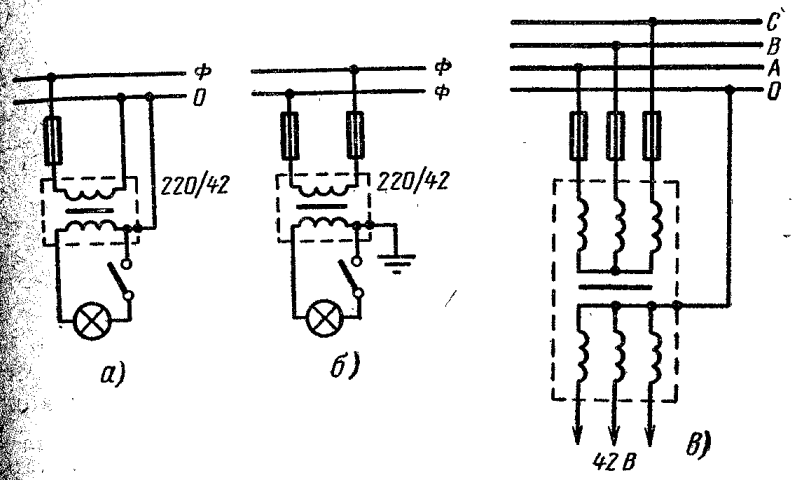


Рис. 21. Включение понижающих трансформаторов малого напряжения.

а — однофазного в сети с заземленной нейтралью; *б* — однофазного в сети с изолированной нейтралью; *в* — трехфазного в сети с заземленной нейтралью.

Применение разделяющих трансформаторов имеет целью изолировать электроприемники от первичной сети, а также от сети заземления или зануления, и тем самым от возможных аварийных состояний первичной сети — повреждений изоляции, однофазных и двойных замыканий на землю, утечек, емкости, т. е. условий, вызывающих повышенную опасность.

К разделяющим трансформаторам предъявляются повышенные требования, чтобы исключить повреждение изоляции внутри трансформатора при переходе напря-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

жения первичной стороны на вторичную (например, повышенные испытательные напряжения, расположение обмоток первичного и вторичного напряжения на разных стержнях). Разделяющие трансформаторы могут применяться не только с одновременным понижением напряжения, а как чисто разделяющие, например 220/220 В и т. п.

Вторичное напряжение разделяющих трансформаторов должно быть все же не выше 380 В. Рассмотрим схемы их включения.

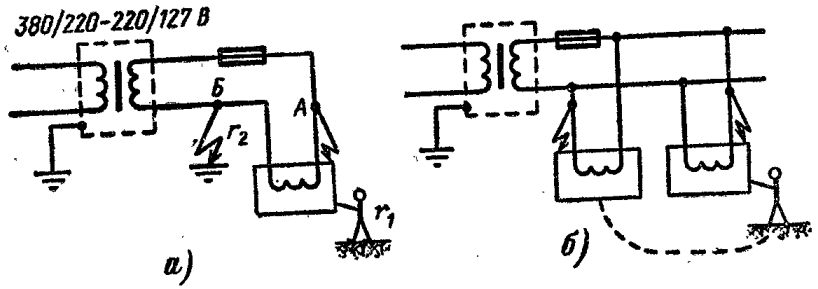


Рис. 22. Схемы включения разделяющих трансформаторов.

Вторичная обмотка разделяющего трансформатора или корпус электроприемника, питающегося через разделяющий трансформатор, не должны иметь ни заземления, ни связи с сетью зануления. Тогда (и это важное их преимущество) прикосновение к частям, находящимся под напряжением, или к корпусу с поврежденной изоляцией (рис. 22, *а*, случай *А*) не создает опасности, поскольку вторичная сеть коротка и токи утечки в ней и емкостные токи при исправной изоляции ничтожно малы.

Если возникшее замыкание в одной фазе (точка *А*) не будет устранено, а затем повредится изоляция на другой фазе вторичной цепи (случай *Б*), то предохранитель может сгореть только при металлической связи между *А* и *Б*; если такой связи нет, на корпусе электроприемника будет напряжение по отношению к земле, величина которого зависит от соотношения сопротивлений r_1 и r_2. Это напряжение (если вторичное напряжение превышает соответственно 12 или 42 В) может оказаться опасным, если человек стоит на земле или на проводящем полу и обувь имеет малое сопротивление.

Чтобы уменьшить вероятность двойных замыканий, разделяющим трансформаторам на вторичной стороне нельзя включать сколько-нибудь разветвленную сеть. Так, при двух и более электроприемниках возможно замыкание в них со связью с землей в двух разных фазах (рис. 22, *б*).

Такие двойные замыкания могут уже повлечь за собой поражения. Поэтому каждый электроприемник должен иметь свой разделяющий трансформатор. Корпус трансформатора заземляется как обычно.

Применение разделяющих трансформаторов дает существенное улучшение условий безопасности по сравнению с питанием непосредственно от сети или через понижающие трансформаторы с заземлением вторичных обмоток.

Они более надежны, чем, например, вращающиеся преобразователи частоты на 36 В и 200 Гц.

Область применения разделяющих трансформаторов достаточно обширна. В условиях особой опасности, например на строительных площадках, когда механизмы и электроинструмент (вибраторы, тяжелые электромотки и т. п.) не могут быть выполнены на напряжение 42 (36) В, применение разделяющих трансформаторов наилучшим образом обеспечивает безопасность.

Как и в других случаях, необходимо периодически и достаточно часто проверять изоляцию трансформаторов, электроприемников и проводов вторичной сети, чтобы исключить однофазные и двойные замыкания.

Глава третья

ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

9. Что необходимо заземлять или занулять

В соответствии с требованиями ПУЭ следует выполнять заземление, зануление (или другие защитные меры) при номинальных напряжениях выше 42 В переменного тока и выше 110 В постоянного тока в помещениях

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

с повышенной опасностью, особо опасных[1] и в наружных установках.

Заземлять или занулять следует:

корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т. п., в том числе переносных и передвижных;

приводы электрических аппаратов;

каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов;

металлические и железобетонные конструкции подстанций и открытых распределительных устройств, металлические кабельные конструкции, металлические корпуса кабельных муфт, металлические оболочки кабелей и проводов, стальные трубы электропроводки, металлические и железобетонные опоры воздушных линий и т. п.

Не требуется заземлять или занулять:

арматуру подвесных и штыри опорных изоляторов, кронштейны и осветительную арматуру при установке их на деревянных опорах и деревянных конструкциях открытых подстанций (дерево рассматривается как изоляция); однако заземление или зануление этих частей выполняется, если на опоре имеются другие части, требующие заземления, например разрядники, разъединители и др.;

оборудование, установленное на заземленных металлических конструкциях; на опорных поверхностях должен быть обеспечен надежный электрический контакт (зачистка);

---

[1] К помещениям с повышенной опасностью в соответствии с ПУЭ относятся такие, в которых имеется одно из следующих условий:

сырость или проводящая пыль;

токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т. п.);

высокая температура;

возможность прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т. п. и одновременно к металлическим корпусам электрооборудования.

К помещениям особо опасным относятся такие, в которых имеется одно из следующих условий:

особая сырость;

химически активная среда;

одновременно два или более условий повышенной опасности.

корпуса электроизмерительных приборов, реле и т. п., установленные на щитах, щитках, в шкафах, на стенах распределительных устройств;

съемные или открывающиеся части на металлически заземленных каркасах в камерах распределительных устройств, на ограждениях, в шкафах и т. п.;

электроприемники, имеющие двойную изоляцию, например электроинструмент с корпусом из пластмассы и т. п.

Во взрывоопасных установках заземление или зануление следует выполнять при любых напряжениях.

10. Необходимо учитывать свойства земли

Электрофизические свойства земли, в которой находится заземлитель, определяются ее удельным сопротивлением. Удельное сопротивление принято обозначать греческой буквой ρ. Чем удельное сопротивление меньше, тем благоприятнее условия для расположения заземлителя.

Удельным сопротивлением земли называют сопротивление между противоположными плоскостями куба земли с ребрами размером 1 м; оно измеряется в оммметрах (Ом·м).

Чтобы представить себе это сопротивление, напомним, что куб меди с ребрами 1 м имеет сопротивление $0{,}175 \cdot 10^{-6}$ Ом при 20° С; таким образом, например при значении $\rho = 100$ Ом·м земля имеет сопротивление в 5,7 млрд. раз больше, чем сопротивление меди в том же объеме. Величину удельного сопротивления земли иногда выражают в омсантиметрах (Ом·см). Значение удельного сопротивления в омсантиметрах в 100 раз больше, чем в омметрах. Так, например, 10^4 Ом·см $= 1 \cdot 10^2$ Ом·м (т. е. 10 000 Ом·см = 100 Ом·м).

Ниже приведены приближенные значения удельных сопротивлений земли, Ом·м, при средней влажности, а также речной и морской воды. Для сооружения заземлителей необходимо знать не приближенные, а точные величины удельных сопротивлений земли в месте их сооружения. Они определяются на местах измерениями.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Песок	400—1000 и более
Супесок	150—400
Суглинок	40—150
Глина	8—70
Садовая земля	40
Чернозем	10—50
Торф	20
Каменистая глина (приблизительно 50%)	100
Мергель, известняк, крупнозернистый песок с валунами	1000—2000
Скала, валуны	2000—4000
Речная вода (на равнинах)	10—80
Морская вода	0,2
Водопроводная вода	5—60

Свойства земли могут изменяться в зависимости от ее состояния — влажности, температуры и других факторов — и могут иметь поэтому разные значения в разные времена года из-за высыхания или промерзания, а также из-за состояния в момент измерения. Эти факторы учитываются при измерениях удельного сопротивления земли сезонными коэффициентами и коэффициентами, учитывающими состояние земли при измерениях, с тем чтобы требующееся сопротивление заземляющего устройства сохранялось в любой сезон и при любой влажности земли, т. е. при неблагоприятных условиях.

В табл. 1 приведены значения сезонных коэффициентов для вертикальных и горизонтальных электродов в разных климатических зонах. Данные относятся к нормальной влажности земли.

Коэффициенты, учитывающие состояние земли при измерениях, приведены в табл.2.

Коэффициент k_1 применяется, если земля влажная, измерениям предшествовало выпадение большого количества осадков; k_2 — если земля нормальной влажности, измерению предшествовало выпадение небольшого количества осадков; k_3 — если земля сухая, количество осадков ниже нормы.

Таблица 1

Признаки климатических зон и значения сезонного коэффициента k_c

Данные, характеризующие климатические зоны и тип применяемых электродов	Климатические зоны СССР			
	1	2	3	4
Климатические признаки зон:				
средняя многолетняя температура:				
низшая (январь), °С	—15 ÷ —20	—10 ÷ —14	0 ÷ —10	0 ÷ +5
высшая (июль), °С	+16 ÷ +18	+18 ÷ +22	+22 ÷ +24	+24 ÷ +26
продолжительность замерзания вод, дней	170÷190	~150	~100	0
Коэффициент k_c для электродов:				
вертикальных:				
длиной 3 м	1,65	1,45	1,3	1,1
длиной 5 м	1,35	1,25	1,15	1,1
горизонтальных:				
длиной 10 м	5,5	3,5	2,5	1,5
длиной 50 м	4,5	3,0	2,0	1,4

Таблица 2

Коэффициенты к измеренным значениям удельного сопротивления земли, учитывающие ее состояние во время измерения

Электрод	k_1	k_2	k_3
Вертикальный:			
$l=3$ м	1,15	1	0,92
$l=5$ м	1,1	1	0,95
Горизонтальный:			
$l=10$ м	1,7	1	0,75
$l=50$ м	1,6	1	0,8

Таким образом, расчетное значение удельного сопротивления земли $\rho_{расч}$ принимается равным:

$$\rho_{расч} = k_c k \rho_{изм},$$

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

где k_c — сезонный коэффициент из табл. 1; k — один из коэффициентов из табл. 2.

Земля может быть однородной, но может состоять из нескольких слоев с разными удельными сопротивлениями. Сопротивление заземлителя зависит не только от верхнего слоя земли, но и от нижних слоев. Чем большую территорию занимает заземлитель, тем влияние нижних слоев увеличивается. При сложных заземлителях, требующих значительных затрат, учет нижних слоев может дать существенную разницу в сопротивлении заземлителя и его стоимости. В таких случаях определяется так называемое «эквивалентное удельное сопротивление земли», которое и принимается в расчетах заземлителей.

Свойства земли могут быть улучшены искусственным путем. К этому приходится иногда прибегать при высоких удельных сопротивлениях земли путем добавления в траншеи, где расположены электроды, некоторых веществ или их водных растворов (суспензий).

В последние годы в ряде стран (в Венгрии, США и др.) успешно применяется бентонит — в природных условиях камень белого цвета. В виде порошка бентонит применяется в литейном производстве как связывающая добавка к формовочному песку и для многих других целей. Своим названием он обязан месторождению в районе г. Бентона в США. У нас в Советском Союзе бентонит добывается в поселке Огланлы Туркменской ССР и в Асканском месторождении Грузинской ССР (бентонит «Аскангель»).

Основная составляющая часть бентонита алюмогидросиликаты с удельным сопротивлением ~ 10 Ом·м способствует длительному сохранению высокого содержания влаги и не дает коррозии заземлителей (что получается, например, при использовании соли или хлористого кальция). Применяется бентонит в виде студня (80—100 кг на 1000 л воды). Стоимость кускового бентонита на месте ~ 10 руб. за тонну.

11. О сопротивлении заземляющих устройств и заземлителей

Из сказанного ранее (см. § 3) следует, что для обеспечения безопасности заземляющее устройство должно иметь сопротивление по возможности малое и во всяком

Таблица 3

Максимально допустимые сопротивления заземляющих устройств

Установки	Сопротивление заземляющего устройства, Ом
1. Электроустановки напряжением 3—35 кВ и опоры воздушных линий, на которых установлены силовые и измерительные трансформаторы, разъединители, предохранители и другие аппараты:	
а) заземляющее устройство одновременно используется для установок напряжением до 1000 В	$\frac{125}{I_р}$, но не более 10, с соблюдением требований п. 2, причем принимается меньшее значение
б) только для установок напряжением выше 1000 В	$\frac{250}{I_р}$, но не более 10
2. Электроустановки:	
напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью	4
напряжением 220, 380, 660 В с заземленной нейтралью	8, 4, 2 соответственно
3. Железобетонные и металлические опоры воздушных линий напряжением:	
а) 3—20 кВ в населенной местности и для всех линий 35 кВ при удельном сопротивлении земли ρ, Ом·м:	
до 100	10
более 100 до 500	15
более 500 до 1000	20
более 1000	30
б) 3—20 кВ в ненаселенной местности при ρ, Ом·м:	
до 100	Не более 30
выше 100	Не более 0,3 ρ
4. Железобетонные и металлические опоры воздушных линий напряжением до 1000 В при изолированной нейтрали	50

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Установки	Сопротивление заземляющего устройства, Ом
5. Железобетонные и металлические опоры воздушных линий напряжением до 1000 В при заземленной нейтрали	Должны быть соединены с нулевым проводом

Примечания: 1. $I_р$ — расчетный ток замыкания на землю (значение его задается энергосистемой).

2. По проекту новой редакции ПУЭ для электроустановок напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью при удельном сопротивлении земли более 100 Ом · м допускается увеличение сопротивлений заземляющих устройств пропорционально величинам $\rho_ф/100$, а для всех других систем — пропорционально $\rho_ф/500$, где $\rho_ф$ — фактическое удельное сопротивление земли в месте расположения заземлителя. Увеличение допускается не более чем в 10 раз.

случае не выше определенной величины. Некоторые данные о требуемых ПУЭ максимально допустимых сопротивлениях заземляющих устройств приведены в табл. 3.

Напомним, что в заземляющее устройство входит совокупность заземлителей и заземляющих проводников. В этом параграфе рассмотрим в основном вопросы, относящиеся к заземлителям, а заземляющие проводники рассмотрены в § 13.

Если в установке имеются разные напряжения или разные системы (заземленная или изолированная нейтраль), тогда их общие (совмещенные) заземлители и заземляющие проводники должны удовлетворять требованиям ПУЭ к заземляющим устройствам любого из имеющихся электроприемников. Это означает, что приходится принимать меньшее из требуемых сопротивлений заземляющих устройств.

Пример. Требуется выбрать сопротивление заземляющего устройства установки, получающей питание от сети 6 кВ с изолированной нейтралью и содержащей электродвигатели 6 кВ и 380 В и трансформатор мощностью 250 кВ·А, напряжением 6/0,4 кВ с заземленной нейтралью; ток замыкания на землю сети 6 кВ 15 А.

Согласно табл. 3, п. 1а для заземления электродвигателей 6 кВ и корпуса трансформатора требуется сопротивление заземляющего устройства 125/15=8 Ом, а согласно п. 2 для электродвигателей 380 В — 4 Ом. Таким образом, принимаем меньшее сопротивление 4 Ом.

Чтобы получить заземляющие устройства с малым сопротивлением, широко используются так называемые **естественные заземлители:** водопроводные и иные трубы, проложенные в земле, металлические конструкции, хорошо связанные с землей, и т. п. Такие заземлители могут иметь малые сопротивления, и на их устройство не требуется специальных затрат. Поэтому **они должны быть использованы в первую очередь.**

В тех случаях, когда такие естественные заземлители отсутствуют, для заземляющих устройств приходится устраивать **искусственные заземлители.** Они состоят из

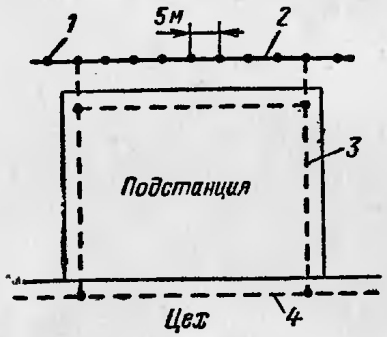


Рис. 23. Пример заземлителя подстанции.
1 — вертикальные электроды; *2* — горизонтальные электроды (полосы); *3* — заземляющая магистраль внутри подстанции; *4* — заземляющая магистраль в цеху.

групп или рядов погруженных в землю вертикальных электродов — уголков, стержней и соединенных стальными полосами или круглой сталью (рис. 23). Число электродов и их расположение зависят от требуемого сопротивления заземляющего устройства и удельного сопротивления земли.

Зная величину удельного сопротивления земли, можно определить сопротивление растеканию различных отдельных электродов. Приближенные расчетные формулы приведены в табл. 4.

Из данных табл. 4 видно, что сопротивления растеканию электродов непосредственно зависят от удельного сопротивления земли. Но земля может в летнее время просыхать, а в зимнее промерзать. И в том и в другом случае удельное сопротивление земли и сопротивление растеканию заземлителей возрастает, иногда довольно значительно (см. § 10).

Для достижения более влажных и непромерзающих слоев земли уголки, стержни и трубы погружаются в землю так, чтобы их верх находился на 0,7—0,8 м ниже

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Таблица 4

Сопротивления растеканию электродов заземления

Электрод	Сопротивление, Ом
Вертикальный, угловая сталь, стержень, труба	$\frac{\rho}{l}$, где l — длина электрода, м
Полосовая сталь шириной 40 мм или круглая диаметром 20 мм	$\frac{2\rho}{l}$, где l — длина полосы, м
Прямоугольная пластина (при небольшом отношении размеров сторон), заложенная вертикально	$0{,}25\frac{\rho}{\sqrt{ab}}$, где a и b — размеры сторон пластины, м

уровня земли. Несмотря на это часть их длины (а горизонтальные заземлители, прокладываемые на глубине 0,7—0,8 м, — полностью) — попадает в зону возможного промерзания и высыхания земли. Поэтому чтобы получить необходимое сопротивление заземляющих устройств в любое время года, величины удельных сопротивлений земли в табл. 4 следует принимать с учетом повышающих коэффициентов, приведенных в табл. 1 (§ 10).

Общее сопротивление растеканию заземлителя, состоящего из группы электродов, можно определить, если разделить сопротивление отдельного электрода $r_з$ на их число n, т. е. $r_з/n$. Но при этом необходимо учитывать еще взаимное влияние электродов.

Явление взаимного влияния приводит к тому, что сопротивление растеканию заземлителя в целом в действительности всегда больше, чем указанное выше значение $r_з/n$. Чем ближе находятся электроды один от другого, тем в большей степени сказывается их взаимное влияние и увеличивается общее сопротивление заземлителя. Поэтому вертикальные электроды рекомендуется помещать друг от друга на расстоянии не меньшем, чем одна-две их длины.

Коэффициенты, учитывающие увеличение сопротивления растеканию вследствие взаимного влияния, называются «коэффициентами использования» заземлителей.

Таким образом, сопротивление заземлителя из групп электродов равно:

$$R_з = r_з/n\eta,$$

где η — коэффициент использования заземлителя.

Коэффициенты использования всегда меньше единицы и могут иметь значения от 0,2 и выше. Это означает, что взаимное влияние электродов заземлителя приводит к увеличению его сопротивления или уменьшению суммы проводимостей электродов.

12. Заземлитель — ответственное устройство

Заземлители должны сооружаться в соответствии с проектом, требованиями ПУЭ, СНиП и инструкциями монтажных организаций.

Заземлители выполняются в Советском Союзе из стали. В соответствии с ПУЭ для обеспечения механической прочности заземлителей электроды должны иметь размеры не менее приведенных в табл. 5.

Таблица 5

Минимальные размеры электродов заземлителей

Электрод	Минимальный размер
Круглый	Диаметр 10 мм
Круглый оцинкованный	Диаметр 6 мм
Прямоугольный	Сечение 48 мм², толщина 4 мм
Угловая сталь	Толщина 4 мм
Водогазопроводная труба	Толщина стенок 3,5 мм

Конструктивные части заземлителей и их транспортабельные узлы изготавливаются на заводах и в мастерских монтажных организаций.

Применяемые для укладки в землю электроды и соединительные проводники не должны быть окрашены, должны быть очищены от ржавчины, следов масла и т. п.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

При агрессивных средах они должны иметь защитные покрытия (оцинкованная сталь) или увеличенное сечение.

Вертикальные электроды погружаются в дно траншей глубиной 0,7—0,8 м. Верхний конец электрода должен выступать над дном траншеи на высоту 0,1—0,2 м. Погружение вертикальных электродов производится, как правило, механизированным способом с помощью копров,

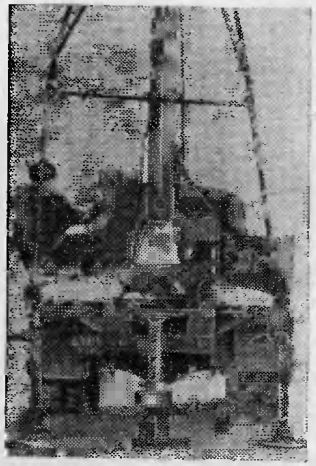


Рис. 24. Погружение вертикальных стержневых электродов ввертыванием с помощью приспособления ПЗ-12.

Рис. 25. Погружение вертикальных стержневых электродов автомобуром.

вибраторов, гидропрессов, методом ввертывания при стержневых электродах (рис. 24 и 25).

Горизонтальные электроды прокладываются по дну траншеи на глубине 0,7—0,8 м. Прокладка на меньшей глубине выполняется в местах присоединений к оборудованию и в скальных грунтах по данным проекта. Электроды из полосовой стали прокладывают на ребро. Присоединение магистральных заземляющих проводников к заземлителю осуществляется в двух местах.

Соединения в земле всех частей заземлителя, а также соединения заземлителей с защитными проводниками выполняются электросваркой (рис. 26). При отсутствии электросварочного оборудования может применяться термитная сварка. Качество сварных соединений определяется осмотром, а прочность — ударом молотка массой ~ 1 кг.

В местах пересечений горизонтальных электродов с подземными сооружениями (трубопроводы, кабели и др.),

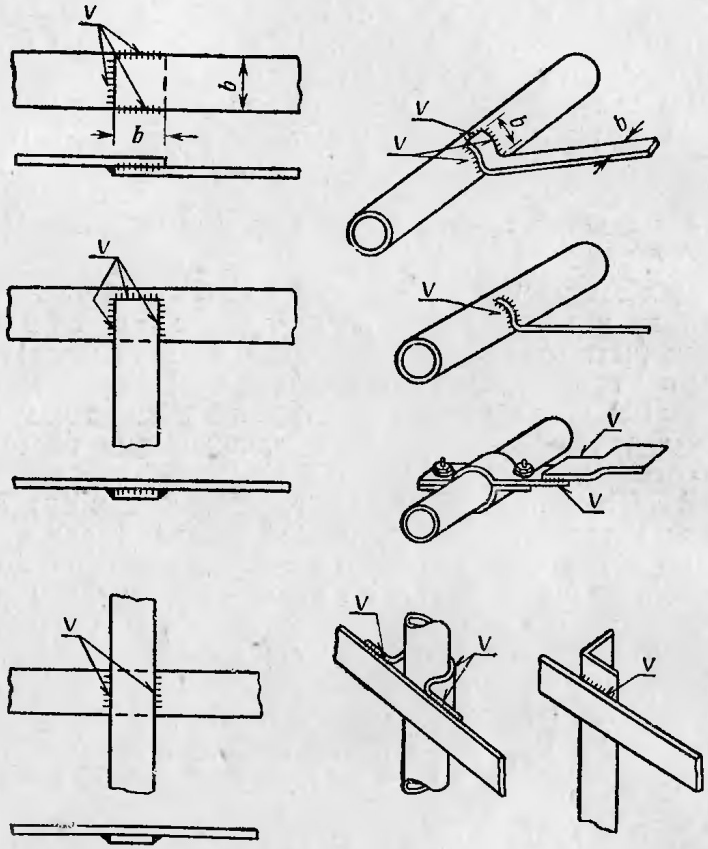


Рис. 26. Соединения и ответвления заземляющих стальных проводников.

при пересечении дорог и в других местах, где возможны механические повреждения, горизонтальные электроды защищают металлическими или асбоцементными трубами. Рытье траншей производится экскаваторами или канавокопателями, засыпка — бульдозерами. В неудобных для применения механизмов местах рытье траншей и засыпка производятся вручную. Траншеи с уложенными

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

в них электродами следует засыпать землей, не содержащей камней и строительного мусора. Засыпка производится с плотной утрамбовкой. Перед засыпкой траншей проверяется качество соединений и составляется акт по установленной форме на скрытые работы. В чертежи вносятся все отступления от проекта. У мест вывода из здания проводников заземления для соединения с заземлителем наносятся опознавательные знаки.

По окончании монтажа при сдаче в эксплуатацию производятся измерения и испытания (см. § 17—22).

13. Как выбрать проводники для заземлений и занулений

Для заземлений и занулений электроприемников могут быть использованы: отдельные жилы кабелей и проводок (четвертая жила, четвертый и третий провод); открыто проложенные проводники, преимущественно стальные; металлические конструкции разного назначения, имеющие связь с землей; алюминиевые оболочки кабелей (броня не учитывается).

В частности, защитными[1] проводниками могут служить: металлические конструкции зданий (фермы, колонны и т. п.); металлические конструкции производственного назначения (подкрановые пути, каркасы распределительных устройств, галереи, площадки, шахты лифтов, подъемников и т. п.); стальные трубы электропроводок. Они могут служить единственными защитными проводниками только в том случае, если удовлетворяют требованиям ПУЭ в отношении сечения или проводимости (сопротивления), а также если обеспечена их непрерывность.

Защитные проводники по условиям механической прочности и стойкости против коррозии должны иметь минимальные размеры, приведенные в табл. 6 и 7.

[1] В новой редакции ПУЭ применительно к установкам напряжением до 1000 В приняты термины «рабочий нулевой провод», т. е. провод, по которому проходит ток неравномерной нагрузки фаз, и «защитный нулевой провод», т. е. провод, специально предназначенный для осуществления зануления. В четырехпроводных линиях рабочий нулевой провод может осуществлять функции защитного. Здесь и в дальнейшем применяется также термин «защитный проводник», когда речь идет о защитных мерах безотносительно к виду установки (этот термин соответствует международным стандартам).

Таблица 6

Минимальные размеры стальных защитных проводников

Проводник	В зданиях	В наружных установках	В земле
Круглый, диаметр, мм	5	6	10
Прямоугольный:			
сечение, мм²	24	48	48
толщина, мм	3	4	4
Угловая сталь, толщина полок, мм	2	2,5	4
Водогазопроводные трубы, толщина стенок, мм	2,5	2,5	3,5
Тонкостенные трубы по ГОСТ 10704-63, толщина стенок, мм	1,5	Не допускаются	

Таблица 7

Минимальные сечения медных и алюминиевых защитных проводников в электроустановках напряжением до 1000 В, мм²

Проводник	Медь	Алюминий
Голые проводники при открытой прокладке	4	6
Изолированные провода	1,5*	2,5
Заземляющие жилы кабелей или многожильных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами	1	1,5

* При прокладке проводов в трубах допускаются медные нулевые и защитные проводники сечением 1 мм², если фазные провода имеют то же сечение.

Не во всех случаях можно ограничиться для защитных проводников минимальными размерами. Учитывая условия безопасности и особую надежность, которую должны иметь защитные проводники, ПУЭ предъявляют к ним еще дополнительные требования.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

В сетях с изолированной нейтралью сечение заземляющих проводников должно составлять не менее 1/3 сечения фазных, а при проводниках из разных металлов проводимость заземляющих проводников должна быть не менее 1/3 проводимости фазных (или сопротивление не более чем утроенное сопротивление фазных проводников), причем не требуется медных проводников сечением более 25 мм², алюминиевых — 35 мм² и стальных — 120 мм². В установках напряжением выше 1000 В заземляющие проводники магистралей из полосовой стали должны иметь сечение не менее 120 мм², а при напряжении до 1000 В — не менее 100 мм². Допускается применение круглой стали той же проводимости.

Некоторую сложность представляет **выбор проводников зануления для установок 660/380, 380/220 и 220/127 В с заземленной нейтралью.** В § 6 мы показали, что отключение аварийного участка происходит, если имеется достаточная величина тока короткого замыкания; следовательно, необходимо иметь такое (по возможности малое) сопротивление цепи короткого замыкания, при котором в случае замыкания на корпус ток достиг бы значения, необходимого для сгорания ближайшей плавкой вставки или отключения ближайшего автомата в относительно короткое время. Сопротивление цепи замыкания во многом зависит от свойств нулевого и защитного проводников — материала, сечения и способа прокладки.

Для нулевого и защитного проводника ПУЭ предписывается следующее требование: их проводимость должна составлять не менее 50% проводимости фазного провода или сопротивление не должно превышать более чем в 2 раза сопротивление фазного провода. В этом заключается второе требование, о котором сказано в § 6.

При медных или алюминиевых проводах задача ясна: необходимо принять сечение нулевого и защитного проводника равным не менее 50% фазного. Если же фазный провод медный или алюминиевый, а защитный — стальной, как это часто бывает в промышленных установках, или если вся линия выполнена из стальных проводников, то нельзя выбирать нулевой и защитный проводники, исходя из сечения фазных. Дело в том, что **сопротивление стальных проводников** вообще относительно велико, а при переменном токе оно зависит еще от величины проходящего по проводам тока, а также и от профиля

стали (круглый провод, полоса и т. д.), так как в стальном проводнике переменный ток распределяется неравномерно и в большей части вытесняется к периметру, т. е. к внешним поверхностям. Поэтому, например, круглая сталь как проводник имеет менее выгодный профиль, чем полосовая, так как при одном и том же сечении она имеет меньший периметр. Кроме того, стальные защитные проводники обычно прокладывают на некотором, иногда значительном расстоянии от фазных, из-за чего увеличивается сопротивление цепи (внешнее индуктивное сопротивление).

В табл. 8 приведены сечения проводников из полосовой стали и диаметры труб электропроводки, примерно соответствующие по проводимости сечениям медных и алюминиевых проводов для зануления в сетях 660, 380 и 220 В с заземленной нейтралью.

Таблица 8

Сечения и диаметры стальных защитных проводников, приближенно соответствующих медным и алюминиевым защитным, в сетях напряжением 660, 380 и 220 В с заземленной нейтралью

Сечение медного фазного провода, мм²	Сечение алюминиевого фазного провода, мм²	Сечение стальной полосы для зануления, мм²	Диаметр водогазопроводной трубы для зануления
6 и ниже	10 и ниже	15×3	1/2″
10	16	20×4	1/2″
16	25	40×3	3/4″
25	35	50×4	1″
35	50	80×4	1 1/2″
50	70	100×4	1 1/2″
70	95	100×8	2″
95	120	100×8*	2 1/2″
120	—	—	2 1/2″

* Может применяться только при алюминиевом фазном проводе.

Следует иметь в виду, что проводимость в 50% для нулевых и защитных проводов относительно большой длины не всегда достаточна для обеспечения требуемой кратности тока отключения, не говоря уже об обеспечении достаточно малого времени действия. Поэтому стальные проводники могут применяться для целей зануления только в промышленных установках, т. е. при относительно коротких расстояниях от трансформаторов. Кроме того, учи-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

тывается, что в промышленных установках обеспечению условий безопасности способствует выравнивание потенциалов.

Во взрывоопасных установках, питающихся от сетей с заземленной нейтралью для зануления должны применяться только третьи и четвертые жилы проводов и кабелей. Стальные трубы электропроводки, металлоконструкции используются лишь как дополнительные защитные проводники.

Часто возникает вопрос, могут ли быть использованы металлические оболочки кабелей в качестве нулевых и защитных проводников? Из сказанного ранее следует, что в том случае, если они имеют достаточную проводимость, использование их возможно. Судить об их проводимости можно по данным табл. 9, из которой можно видеть, что

Таблица 9

Сечения и проводимости алюминиевых и свинцовых оболочек трехжильных кабелей напряжением 1 кВ, мм²

Жила кабеля	Алюминиевая оболочка	Свинцовая оболочка	Провод, равный по проводимости свинцовой оболочке	
			медный	алюминиевый
4	—	24	2,1	3,4
6	33	35	3,1	4,9
10	37	40	3,6	5,6
16	43	46	4,1	6,4
25	46	55	4,9	7,7
35	57	62	5,5	8,7
50	65	76	6,7	10,6
70	82	94	8,4	13,1
95	102	107	9,5	15,0
120	115	130	11,6	18,2
150	128	156	13,9	21,8
185	165	172	15,3	24,1
240	225	260	23,5	36,5

алюминиевые оболочки кабелей удовлетворяют изложенным в этом параграфе требованиям к нулевым и защитным проводникам всегда, а свинцовые оболочки — только при малых сечениях кабелей. Поэтому ПУЭ запрещают применение свинцовых оболочек

кабелей в качестве нулевых и защитных проводников.

Внимание! *Не следует смешивать этот вопрос с вопросом об использовании металлических оболочек кабелей в качестве заземлителей. Алюминиевые оболочки вообще не могут использоваться в качестве заземлителей, так как они имеют изоляционные покровы, предохраняющие алюминий от коррозии в земле; свинцовые оболочки могут использоваться в качестве заземлителей при числе кабелей не менее двух.*

14. Заземление и зануление должны быть выполнены надежно

Защитные проводники и заземлители выполняют важные функции, обеспечивающие безопасность людей. Между тем нарушение непрерывности цепи заземления

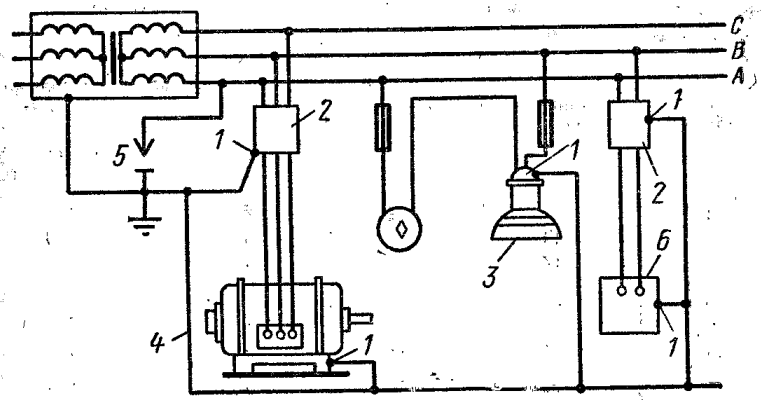


Рис. 27. Схема заземления установки напряжением до 1000 В в сети с изолированной нейтралью.

1 — заземляющий винт или болт; *2* — защитный аппарат в металлическом корпусе; *3* — светильник; *4* — магистраль заземления; *5* — пробивной предохранитель; *6* — однофазный электроприемник.

или зануления не нарушает нормальной работы установки и может оставаться в течение длительного срока незамеченным. Поэтому должны быть прежде всего обеспечены правильность и надежность выполнения заземлений и занулений.

На рис. 27 показано **заземление электроприемников в сети с изолированной нейтралью.** Между фазным про-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

водом и землей включен пробивной предохранитель. Он применяется для того, чтобы обеспечить безопасность в случае такого повреждения трансформатора, при котором высшее напряжение попало на сторону низшего. В таких случаях предохранитель пробивается и соединяет обмотки трансформатора с землей.

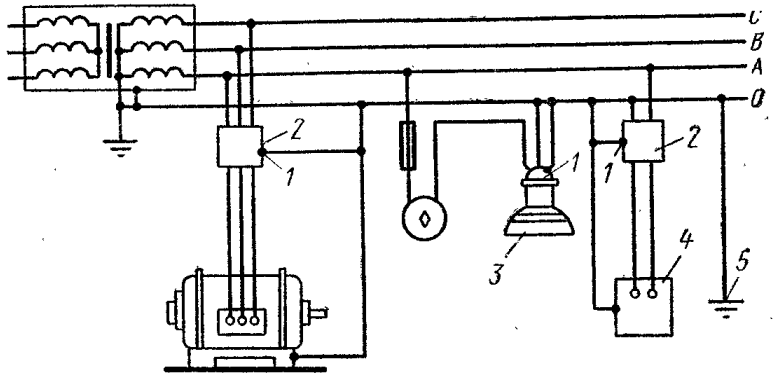


Рис. 28. Схема зануления установки напряжением до 1000 В в сети с заземленной нейтралью.

1 — заземляющий винт или болт; *2* — защитный аппарат; *3* — светильник; *4* — однофазный электроприемник; *5* — повторное заземление нулевого провода.

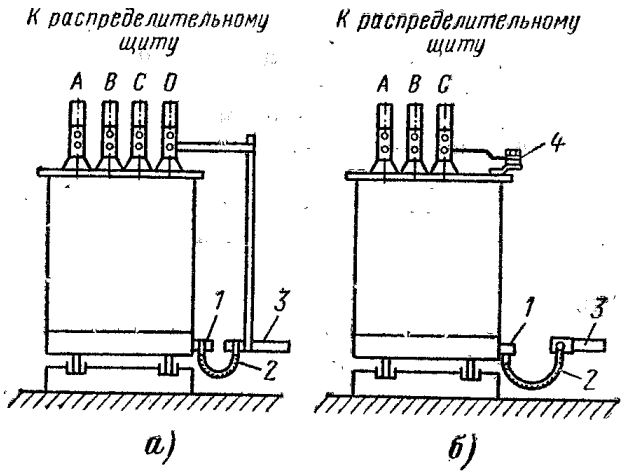


Рис. 29. Заземление трансформатора.

а — при заземленной нейтрали в установках напряжением 660, 380 и 220 В; *б* — при изолированной нейтрали со вторичным напряжением до 1000 В; *1* — заземляющий болт; *2* — гибкая перемычка; *3* — ответвления к заземляющей магистрали и заземлителю; *4* — пробивной предохранитель.

Установка пробивного предохранителя на фазном проводе, а не в нейтрали облегчает контроль его целости, так как, если предохранитель будет пробит, это сразу обнаружится по приборам контроля изоляции.

На рис. 28 показано, как выполняется **зануление электроприемников в сети с заземленной нейтралью.** Здесь соединение обмоток трансформатора с землей при его повреждении с переходом высшего напряжения на сто-

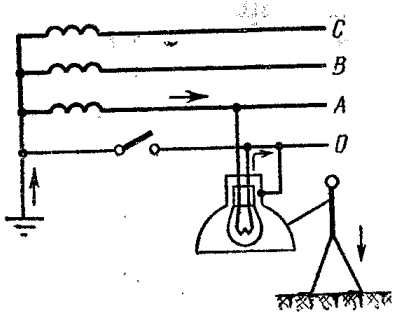


Рис. 30. Цепь поражения при установке выключателя в нулевом проводе.

рону низшего осуществляет заземление нейтрали. Не надо, однако, считать, что наличие заземления нейтрали всегда гарантирует безопасность; если на стороне высшего напряжения емкостные токи велики (при отсутствии компенсации они могут в разветвленных кабельных сетях достигать нескольких десятков ампер), а защита не отключит повреждение, тогда на нейтрали и на всех соединенных с ней (зануленных) частях возникнет напряжение, равное произведению из емкостного тока на сопротивление заземления нейтрали, которое может быть опасным. Вот почему надо тщательно следить за состоянием изоляции трансформатора и всех близлежащих токоведущих частей, в том числе конечных опор воздушных линий, заземление которых связано с заземлением подстанции.

На рис. 29 показано, как выполняется заземление нейтрали, корпуса трансформатора и пробивного предохранителя. В установках с заземленной нейтралью соединение ее с заземлителем выполняется непосредственно, а не через сеть зануления.

Обеспечение надежности заземлений и занулений требует соблюдения ряда мер.

Во избежание разрыва цепи заземления или зануления в ней не должны устанавливаться вы-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

ключатели или предохранители (за исключением случаев, когда вместе с фазными отключаются и защитные проводники). Например, недопустима установка выключателя (или предохранителя) в цепи зануления (рис. 30), так как это может привести к поражению при прикосновении к зануленному корпусу, даже когда исправна изоляция. Это произойдет, если в нулевом проводе будет отключен выключатель или перегорит вставка предохранителя.

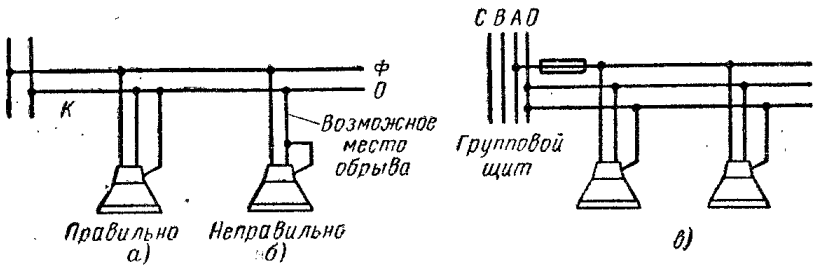


Рис. 31. Зануление корпуса светильника.

На рис. 31 показано зануление металлического корпуса светильника. Зануление по рис. 31, *а* осуществляется третьим проводом путем ответвления от нулевого провода осветительной магистрали на ближайшей опорной точке (например, изоляторе) или в ответвительной коробке. При занулении по схеме рис. 31, *б* и обрыве нулевого проводника корпус светильника получит напряжение через нить лампы.

Если обрыв нулевого проводника произойдет в точке *К*, тогда, как и в схемах на рис. 31, *а*, *б*, на корпусах светильников за местом обрыва возникнет напряжение по отношению к земле. Величина этого напряжения будет зависеть от сопротивления повторных заземлений нулевого провода и равномерности нагрузки фаз, т. е. возникнет положение, которое мы рассмотрели в § 6 и на рис. 18.

Более надежна схема по рис. 31, *в*, в которой предусмотрен отдельный магистральный защитный проводник до ближайшего распределительного пункта или щита, куда подводятся от трансформатора три фазных провода и нулевой. Однако эта схема требует дополнительных затрат.

В сетях с изолированной нейтралью для заземления электроприемников во всех случаях требуется отдельный защитный проводник и предохранители нужны во всех фазных проводах.

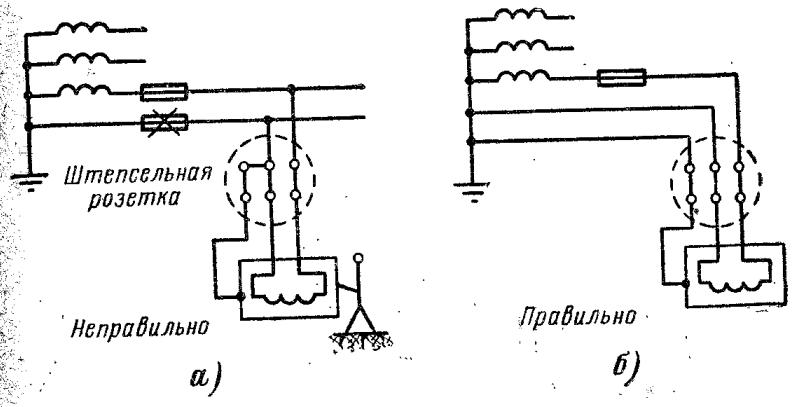


Рис. 32. Зануление однофазного электроприемника.

На рис. 32 показано зануление однофазного силового электроприемника. Выполнение по рис. 32, *а* имеет две погрешности: предохранитель на нулевом проводе и использование для зануления нулевого

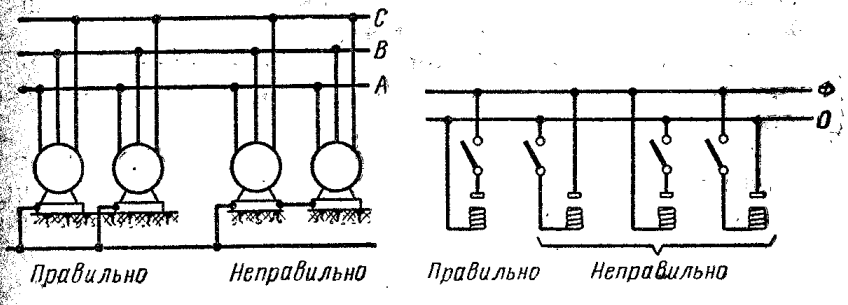


Рис. 33. Присоединение защитных проводников к магистрали.

Рис. 34. Включение ламповых патронов.

провода на ответвлении к электроприемнику. В случае сгорания предохранителя на нулевом проводе или обрыва его корпус электроприемника окажется под напряжением. Зануление однофазных электроприемников должно

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

выполняться отдельным защитным проводником (рис. 32, *б*).

Разрыв цепи заземления (зануления) может также произойти при последовательном присоединении корпусов оборудования к линии заземления (рис. 33). При ремонте первого из электродвигателей заземление второго нарушается.

На рис. 34 показано включение ламповых патронов. Здесь могут иметь место случаи неправильной установки выключателя, неправильные присоединения фазного провода к винтовой гильзе патрона, что не должно допускаться, так как в некоторых старых конструкциях гильза недостаточно закрыта от случайного прикосновения.

Прокладка защитных проводников по стенам выполняется параллельно архитектурным линиям помещения на расстоянии 10 мм от поверхностей. В сухих помещениях и при отсутствии химически активной среды допускается прокладка вплотную к стене. В каналах защитные проводники должны прокладываться на расстоянии не менее 50 мм от съемного покрытия. Крепление стальных полос к стенам удобно производить дюбелями, пристреливаемыми с помощью строительно-монтажного пистолета либо непосредственно к стене, либо в промежуточных деталях. Расстояние между точками крепления равно 0,6—1 м. При отсутствии пистолетов применяются закладные детали, к которым крепятся или привариваются полосы.

Опыт эксплуатации показал, что при пересечении температурных швов здания компенсаторы на защитных проводниках не требуются.

Защитные проводники, за исключением стальных труб скрытой проводки, оболочек кабелей в земле и специальных жил проводов и кабелей, для возможности их осмотра должны прокладываться в помещениях открыто. В новой редакции ПУЭ допущена прокладка в полу стальных защитных проводников в ответвлениях к электроприемникам.

Проходы через стены и перекрытия должны выполняться во втулках из листовой стали или отрезках стальных труб; защитные проводники должны проходить в них свободно. Открытые защитные проводники должны быть окрашены в черный цвет, чтобы облегчить распознавание их электротехническим персоналом и обратить внимание прочих лиц на специальное назначение этих проводок.

Соединения защитных проводников должны обеспечивать надежный контакт и выполняться преимущественно сваркой (см. рис. 26). В помещениях и наружных установках без агрессивных сред в местах, доступных для осмотра и ремонта, допускаются болтовые соединения, но при этом должны быть предусмотрены меры против ослабления контакта и коррозии контактных соединений.

Присоединения защитных проводников к корпусам машин, аппаратов и т. д. должны осуществляться надежным болтовым соединением или, где возможно, сваркой. Места болтовых присоединений должны быть хорошо зачищены и покрыты техническим вазелином. В местах, где возможно попадание влаги, и наружных установках контакты должны быть покрыты смазкой, защищающей их от коррозии. Оконцевание таких защитных проводников осуществляется наконечниками с помощью сварки, опрессовки или пайки.

Присоединение защитных проводников к оборудованию, подвергающемуся частному демонтажу, или к движущимся частям следует выполнять гибкими проводниками. Заземление и зануление машин, установленных на салазках, выполняется путем присоединения защитного проводника к обоим салазкам. При наличии сотрясений принимаются меры против ослабления контактов (устанавливают контргайки).

Металлические оболочки кабелей (свинцовые, алюминиевые) должны иметь надежные соединения по всей длине линии между собой и с корпусами соединительных концевых и других муфт гибкими медными проводниками.

На концах линий металлические оболочки и корпуса муфт присоединяются к магистрали заземления или зануления.

Для кабелей сечением 10, 16—35, 50—120, 150 мм² и выше рекомендуется сечение медного защитного проводника 6, 10, 16 и 25 мм² соответственно.

Соединения металлических оболочек кабелей и соединительных муфт (свинцовых или медных) с защитными проводниками осуществляются пайкой; для обеспечения прочности припаянные проводники должны быть предварительно закреплены проволочными бандажами.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Присоединения к чугунным корпусам соединительных муфт, а также присоединения к металлическим концевым муфтам и воронкам осуществляются болтами.

Заземление и зануление проводов с металлической оболочкой (СРГ, ТПРФ и т. п.) также выполняются при помощи гибких проводников пайкой. При этом заземляющий проводник предварительно для закрепления наматывается на оболочку провода.

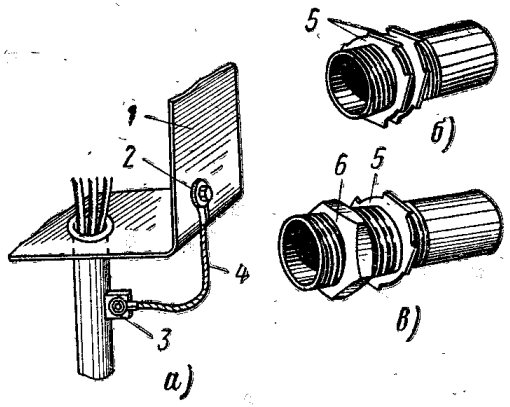


Рис. 35. Заземление (зануление) корпуса аппарата, коробки, ящика через трубы электропроводки.

а — гибкой перемычкой от трубы; *б* — ввод трубы с двумя царапающими гайками (лист корпуса зажимается между гайками); *в* — то же с контргайкой и царапающей гайкой; *1* — корпус аппарата; *2* — заземляющий болт; *3* — фланжок, приваренный к трубе; *4* — гибкая перемычка; *5* — царапающая гайка; *6* — контргайка.

Стальные трубы, используемые для заземления и зануления, должны иметь надежные соединения с помощью хорошо затянутых муфт на сурике с контргайкой на стороне длинного участка резьбы (сгон).

Соединения защитных проводников с трубами водопровода или другими трубопроводами осуществляются (см. рис. 26) хомутами на болтах. Внутренняя поверхность хомута должна быть залужена, а поверхность трубы зачищена. Место контакта покрывают битумом. У водомеров, задвижек и т. п. следует предусматривать обходные соединения, не отсоединяемые при ремонтах.

Соединения нулевых проводов воздушных линий допускается производить теми же методами, что и фазных (например, сжимами).

Заземление или зануление корпуса аппарата, коробки, ящика и т. п. с подводом питающих проводов в трубах показано на рис. 35; здесь трубы используются в качестве защитных проводников.

На рис. 36 показана вводная коробка взрывозащищенного электродвигателя. К зажимам подводятся четыре провода или четыре жилы кабеля. Четвертая жила присоединяется к заземляющему болту *3*. От болта *3* идет проводник *4* для заземления металлической оболочки кабеля. Для того чтобы такое исполнение было надежным, необходимо, чтобы между корпусом коробки и корпусом двигателя был надежный контакт. Для этого поверхности под головками болтов, крепящих коробку к двигателю, должны быть зачищены от краски, а болты хорошо затянуты.

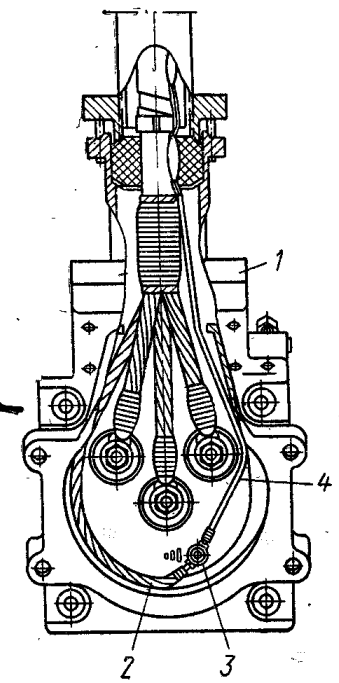


Рис. 36. Общий вид смонтированной вводной коробки (без крышки) взрывозащищенного электродвигателя серии ВАО 4-го — 9-го габаритов.

1 — корпус коробки; *2* — нулевая жила кабеля или провода; *3* — заземляющий болт; *4* — проводник заземления оболочки кабеля.

На рис. 37 показан ввод проводов во взрывозащищенный светильник.

Некоторые особенности имеет заземление реакторов (рис. 38). При горизонтальном расположении фаз заземляющие проводники присоединяются к заземляющим болтам изоляторов. При вертикальном расположении фаз заземляются только опорные изоляторы нижней фазы, так как фланцы изоляторов верхних фаз находятся под напряжением. Заземляющие проводники не должны образовывать вокруг реакторов замкнутых контуров во избежание перегрева этих проводников.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Ко всем местам, где при ремонтных работах приходится выполнять временные заземления, должны быть подведены заземляющие шины, а на них предусмотрены зачищенные и смазанные вазелином планки и барашки для присоединения защитных проводников.

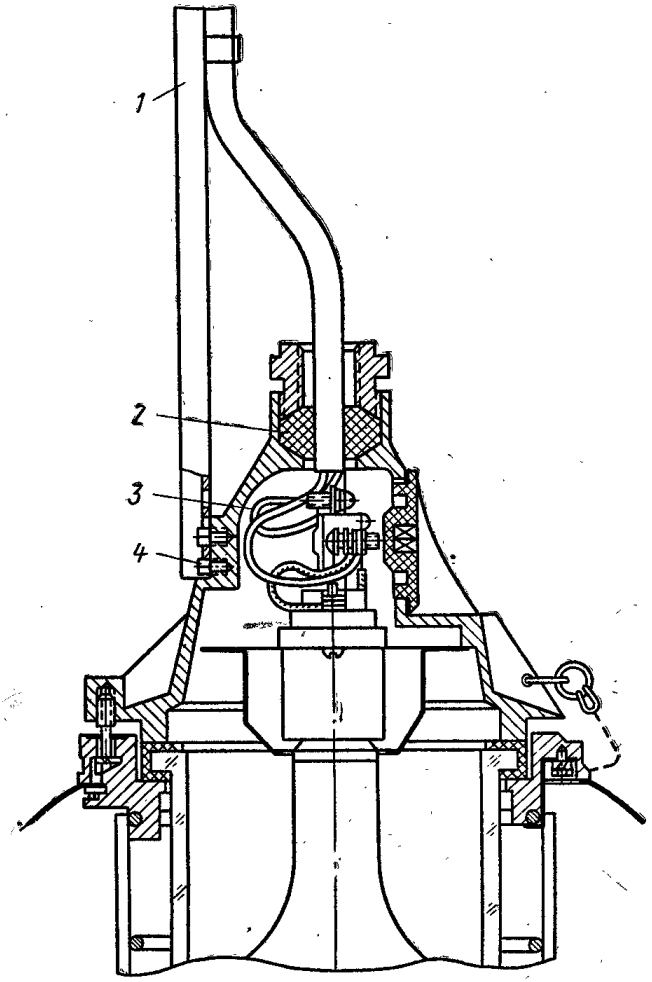


Рис. 37. Ввод проводов во взрывозащищенный светильник Н45Н-150.

1 — кронштейн; *2* — резиновые уплотнения; *3* — питающие провода; *4* — крепление светильника к кронштейну.

Нельзя допускать использования земли в качестве обратного провода, например подключение одного конца светильника к фазному проводу, другого на землю (рис. 39). Если нейтраль сети заземлена, лампа будет гореть практически полным накалом, но такое включение может привести (и уже неоднократно приводило) к смертельным поражениям.

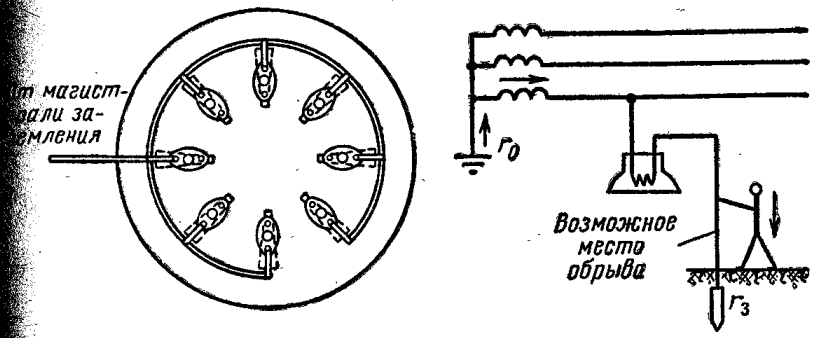


Рис. 38. Заземление изоляторов нижней фазы реактора при вертикальном расположении реакторов разных фаз, а также реакторов разных фаз при горизонтальном расположении.

Рис. 39. Цепь поражения при использовании земли в качестве нулевого провода.

Действительно, если такое включение выполнено, тогда фазное напряжение распределится между двумя сопротивлениями $r_з$ и r_0 пропорционально их величинам.

Но сопротивление в нейтрали на подстанции, как правило, достаточно мало и всегда будет ниже, чем случайное сопротивление $r_з$, поэтому на сопротивление $r_з$ придется большая часть фазного напряжения, т. е. прикосновение к заземляющему проводнику крайне опасно. Опасность поражения усугубляется при обрыве заземляющего провода или при коротком замыкании в электроприемнике (патроне лампы), когда прикосновение к заземляющему проводу равносильно прикосновению к фазному проводу.

15. Переносное и передвижное электрооборудование требует особого внимания

К переносному электрооборудованию относятся: электроприемники, которые при нормальной работе находятся в руках у человека или для работы легко пере-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

носятся с места на место одним человеком (например, электроинструмент, бытовые приборы и аппараты — утюги, плитки, пылесосы и т. п.). Они присоединяются к источнику напряжения гибким проводом через штепсельную розетку.

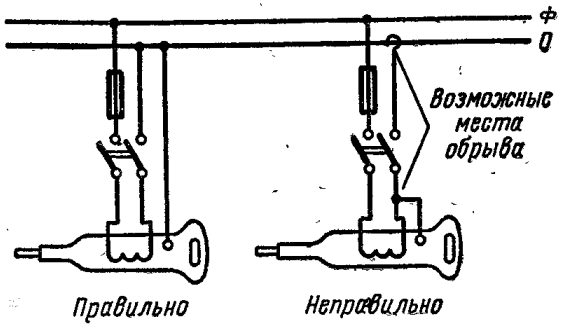


Рис. 40. Зануление переносного электроинструмента.

В переносных электроприемниках замыкания на корпус более часты, чем в стационарных установках. Повреждения изоляции этих приемников и гибких проводников возникают часто вследствие постоянных передвижений. Ручные приборы, например электроинструмент,

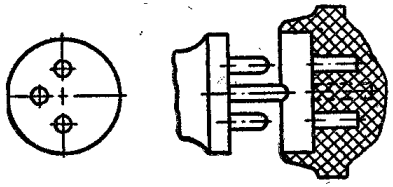


Рис. 41. Штепсельный разъем с заземляющим контактом.

представляют опасность еще и потому, что они охватываются во время работы руками и при случайном появлении напряжения на их корпусах у работающего может возникнуть судорога, препятствующая разжиманию рук и освобождению от тока без посторонней помощи.

При пользовании переносным оборудованием происходит большое число случаев электротравматизма в производственных установках и в быту главным образом вследствие неквалифицированного обслуживания, неумелого ремонта, дефектов конструкций оборудования и

гибких связей, применения устарелых и самодельных устройств.

Заземление и зануление переносных электроприемников осуществляют отдельными медными защитными жилами гибких шнуров (кабелей), находящимися в общей оболочке с фазными жилами. Ко всем однофазным переносным электроприемникам должны подводиться три провода — фазный, нулевой и защитный. Если подвести только два провода — фазный и нулевой, тогда в случае обрыва нулевого провода корпус электроприемника окажется под напряжением. Это нетрудно видеть из рис. 40.

Неправильное присоединение защитных проводников служило неоднократно причиной несчастных случаев. Ненадежное их присоединение (навеской без закрепления) или использование для зануления нулевого провода не должны допускаться.

Штепсельные розетки и вилки для переносных электроприемников должны иметь специальные контакты для присоединения защитного проводника. Конструкция штепсельного соединения и расположение контактов должны исключать возможность использования токоведущих контактов в качестве контактов, предназначенных для заземления или зануления (рис. 41). Соединение между заземляющими контактами штепселя и розетки устанавливается до того, как войдут в соприкосновение токоведущие контакты; порядок отключения — обратный. Это достигается разными способами. Например, в конструкции, показанной на рис. 41, заземляющий контакт расположен так, что вилка может быть вставлена только в определенном положении, и этот контакт имеет большую длину, чем токоведущие.

В сетях с заземленной нейтралью в схемах питания переносных однофазных электроприемников к штепсельной розетке могут подводиться от группового пункта либо два провода — фазный и нулевой, либо три провода — фазный, нулевой и защитный. Схема с двумя проводами применяется в основном в производственных установках (учитывается квалифицированное обслуживание), с тремя — в жилых и тому подобных зданиях как более безопасная. В обоих случаях в розетке имеются три контакта. При монтаже или ремонте необходимо тщательно

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

следить за правильным присоединением проводов в розетке. При подводе двух проводов к розетке нулевой и защитный контакты соединяются перемычкой. Неправильное присоединение (рис. 42) может иметь опасные последствия.

В сетях с изолированной нейтралью к розетке всегда подводятся три провода.

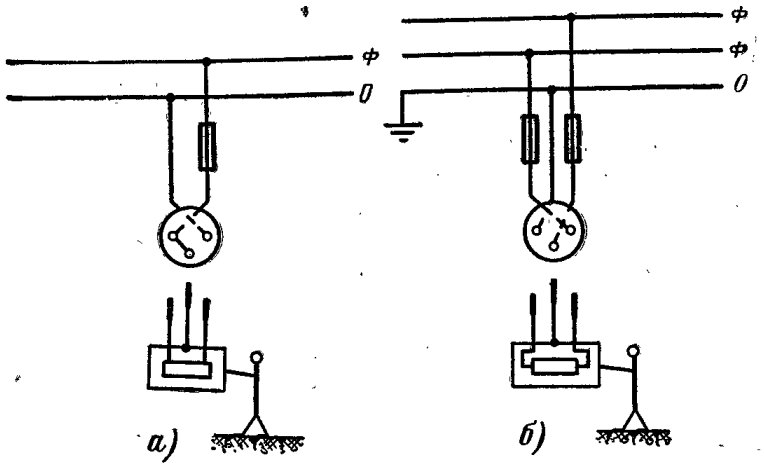


Рис. 42. Неправильное присоединение проводов в штепсельной розетке.

а — нейтраль трансформатора заземлена, электроприемник остается в работе; напряжение на корпусе прибора; *б* — нейтраль трансформатора изолирована, электроприемник не работает (но может оставаться в работе при неисправной изоляции сети); напряжение на корпусе прибора.

Особую осторожность надо соблюдать при использовании удлинителей. Штепсельные разъемы удлинителей должны иметь фиксированное расположение нулевого и защитного контактов как в розетке, так и в штепселе. Но этого еще недостаточно — необходимо тщательно проверять правильность присоединения проводов в разъеме. Лучше всего удлинители не применять и предусматривать в проектах достаточное число штепсельных розеток.

При работе внутри металлических емкостей, на металлоконструкциях и в других подобных условиях корпус электроприемника следует соединять гибким медным проводом сечением не менее 2,5 мм² с этими емкостями или конструкциями независимо от величины рабочего напряжения электроприемника (рис. 43). Этим создается выравнивание потенциалов и улучшаются условия электробезопасности.

Переносные лампы в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных должны применяться в соответствии с требованиями безопасности на напряжения 42 и 12 В и не иметь токоведущих частей, доступных прикосновению; корпуса этих ламп не заземляются.

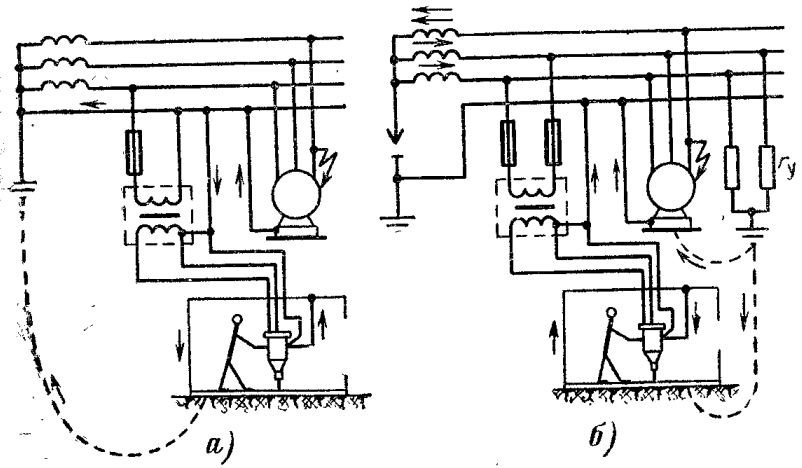


Рис. 43. Зануление и заземление электроинструмента при работе внутри металлических емкостей.

а — при заземленной нейтрали сети; *б* — при изолированной нейтрали сети; $r_у$ — сопротивления утечки.

В новой редакции ПУЭ предписано выполнять заземление или зануление бытовых приборов в местах с повышенной опасностью. К ним относятся в жилых домах: кухни, ванные, душевые, помещения с проводящими полами, а также случаи пользования приборами на открытом воздухе. Выпущены новые ГОСТ, в которых предъявлены и уже проводятся в жизнь повышенные требования к качеству приборов и шнуров.

В ванных комнатах и душевых не должны находиться выключатели и штепсельные розетки. Во всех случаях расстояния до частей нагревателей, светильников и т. п., которые могут оказаться под напряжением, должны быть такими, чтобы человек, находящийся в ванне или душевой, не мог их коснуться.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Легкомысленное отношение к применению электрических приборов и аппаратов недопустимо и может привести к беде. Так, например, в 1970 г. в Москве гражданин 24 лет, принимая ванну, пользовался для развлечения магнитофоном, который он установил рядом с ванной. При прикосновении к оказавшемуся неисправным шнуру он был смертельно поражен электрическим током.

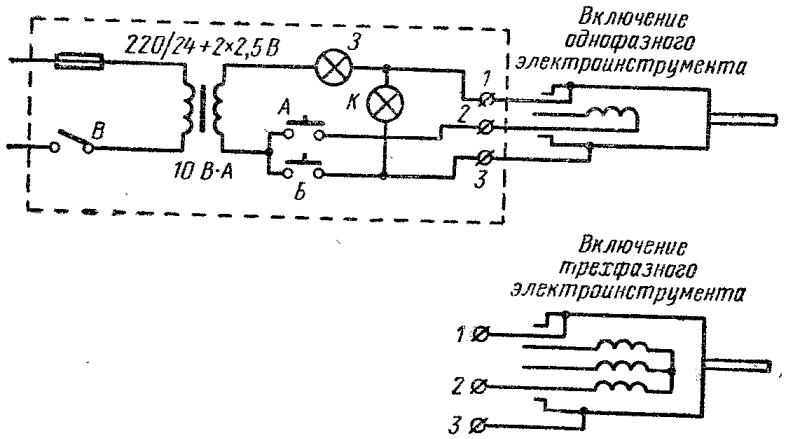


Рис. 44. Схема прибора для проверки заземления электроинструмента.

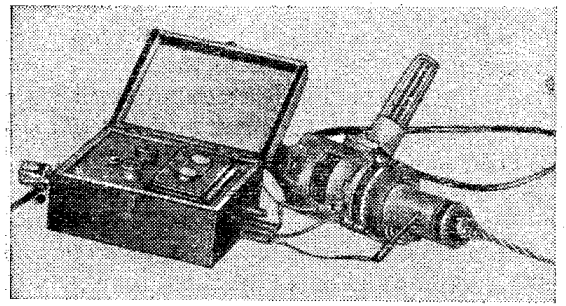


Рис. 45. Прибор для проверки заземления электроинструмента.

Состояние переносного оборудования и гибкие связи должны подвергаться периодической проверке, в частности, после ремонта.

Правила техники безопасности требуют, чтобы электроинструмент подвергался проверке перед каждой его выдачей, для чего предложен ряд устройств (например «Нормометр», см. § 18).

На рис. 44 и 45 приведены схема и внешний вид прибора конструкции автора для проверки электроинструмента и других приборов; с его помощью можно проверить: 1) целость заземляющего проводника, 2) отсутствие или наличие замыкания на корпус. Для проверки имеющиеся в приборе переносные провода присоединяются к зажимам *1*, *2*, *3*, а вторыми концами с помощью зажимов типа «крокодил» — к соответствующим контактам штепсельной вилки инструмента и к его корпусу. Для испытаний служат две кнопки *А* и *Б*, а в качестве индикаторов применены коммутаторные лампы: зеленая *З* и красная *К* напряжением 24 В.

Порядок испытания показан в табл. 10, где горение ламп отмечено знаком «х», отсутствие горения знаком «—».

Таблица 10

Испытание электроинструмента

Проверка	Нажатие кнопки	Загорается лампа	
		К	*З*
Прибор до присоединения инструмента исправен	*Б*	х	х
Заземляющий провод:			
исправен	*Б*	—	х
оборван	*Б*	х	х
Замыкание на корпус:			
нет	*А*	—	—
есть	*А*	—	х

Повышенное напряжение (24+2×2,5 В) трансформатора требуется для увеличения яркости ламп при последовательном включении.

При трехфазном электроинструменте проверка производится аналогично.

Масса прибора в деревянном ящике 1,5 кг, размеры 195×155×105 мм. Испытание сопротивления изоляции электроинструмента производится мегомметром 500 В.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

В последние годы нашли применение прогрессивные защитные меры, обеспечивающие безопасность при пользовании переносным электрооборудованием. В первую очередь — это двойная изоляция корпусов электроприемников (§ 3) и защитное отключение (§ 7). Хорошие результаты во многих случаях дают разделяющие трансформаторы (§ 8) и применение напряжения 36 и 42 В от вращающихся машин — преобразователей частоты.

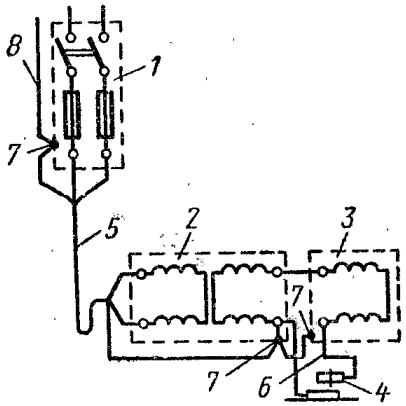


Рис. 46. Заземление (зануление) сварочного трансформатора.

1 — пункт подключения; 2 — сварочный трансформатор; 3 — регулятор; 4 — электрододержатель; 5 — питающий шланговый трехжильный провод (с защитной жилой); 6 — шланговый одножильный провод; 7 — заземляющий болт; 8 — защитный провод сети (при питании от фазного напряжения предохранитель в нулевом проводе снять).

Ошибочно считать, что безопасность обеспечивается повышенной до 200 Гц частотой. При этой частоте опасность электрического тока практически такая же, как и при частоте 50 Гц. Безопасность в этом случае обеспечивается только благодаря отделению с помощью преобразователей частоты от питающей сети (так же, как и при разделяющих трансформаторах). Применение повышенной частоты дает только возможность при равной мощности уменьшить размеры и массу инструмента. Заземление во вторичной сети 200 Гц при напряжении 36 В, а также при питании от преобразователя только одного электроприемника при напряжении 220 и 380 В не требуется.

К передвижному электрооборудованию относятся механизмы, устройства и электроприемники, которые по исполнению и назначению могут использоваться в разных местах и которые в работе не находятся в руках работающего. Например, сварочный аппарат, передвижная электростанция, подъемный кран, используемые обычно в разных местах, относятся к передвижному оборудованию, даже если они работают на одном месте

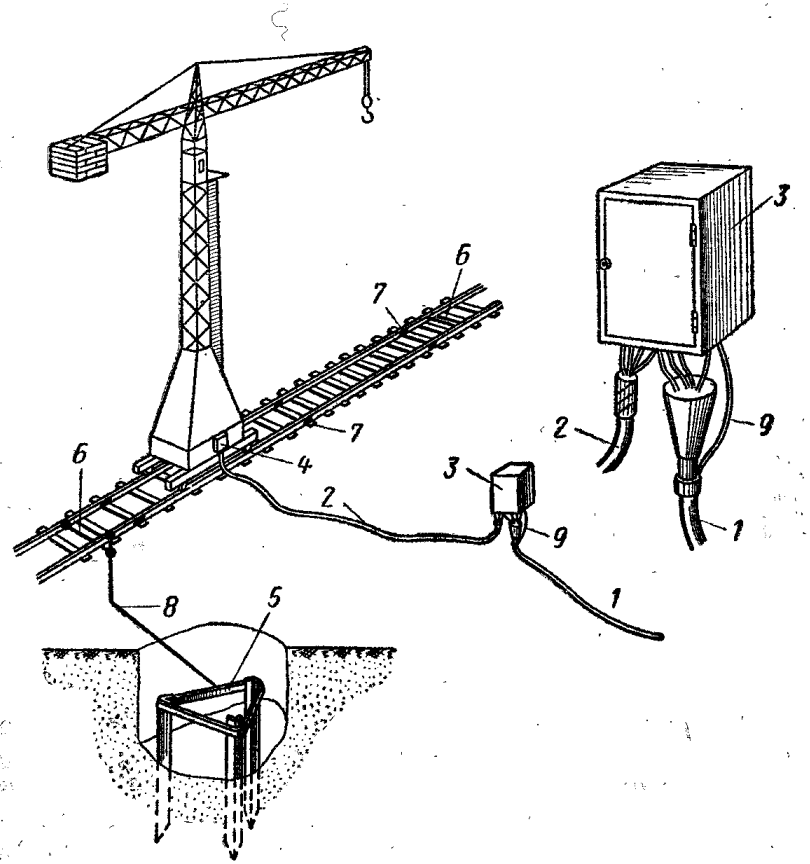


Рис. 47. Заземление (зануление) башенного крана.

1 — питающий четырехжильный кабель; 2 — шланговый четырехжильный кабель; 3 — подключательный пункт; 4 — вводной ящик на кране; 5 — повторный заземлитель; 6 — металлическое соединение рельсов; 7 — перемычка между стыками рельсов; 8 — соединительный проводник; 9 — защитный проводник металлической оболочки питающего кабеля.

достаточно длительно. Если эти механизмы или устройства используются постоянно на одном месте, входят в технологический процесс, например на конвейере, они приобретают уже свойства стационарных. Например, швейная ножная машина с электродвигателем и приво-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

дом в домашних условиях — передвижной электроприемник, на фабрике белья — стационарный.

В отношении защитных мер к передвижному электрооборудованию предъявляются в основном те же требования, что и к стационарному, но более строгие. В качестве примеров на рис. 46 показано заземление (зануление) сварочного трансформатора, а на рис. 47— башенного крана.

Если механизм передвигается по рельсам, они должны быть соединены с проводниками заземления (зануления) пункта включения; на стыках рельсов и между обоими рельсами должны быть приварены перемычки из круглой стали диаметром 6 мм или полосовой толщиной не менее 4 мм.

При заземленной нейтрали сети и питании по воздушной линии устраивается, кроме того, повторное заземление рельсов.

Заземление и зануление передвижных механизмов осуществляются отдельной жилой в питающем гибком кабеле. Ее сечение по условиям механической прочности следует принимать равным сечению фазных жил.

16. Как рассчитать заземляющее устройство

Напомним, что заземляющее устройство состоит из заземлителей и проводников, соединяющих заземлитель с корпусами электрооборудования. Выбор этих проводников был рассмотрен в § 13. Здесь предстоит рассмотреть расчет заземлителя, т. е. определение такого числа и расположения электродов-стержней, уголков, полос, при котором общее их сопротивление растеканию будет равно сопротивлению, предписанному ПУЭ для данного вида установок. Совпадения расчетного сопротивления заземлителя с действительным сопротивлением (после сооружения) можно ожидать лишь в том случае, если в основу расчета положены действительные значения удельного сопротивления земли в месте, где заземлитель будет сооружаться. Как эти данные получить, описано в § 20. Если это не выполнить, то после сооружения заземлителя может оказаться, что либо в землю заложен лишний металл, либо надо увеличивать число электродов и расширять занимаемую заземлителем площадь.

Точный расчет заземлителей, особенно в крупных установках, сложен, ограничимся примером приближенного расчета заземлителя небольшой установки.

Пример 2. Требуется выполнить заземлитель с сопротивлением $R_з=4$ Ом. Измерение удельного сопротивления земли выполнено методом пробного электрода в соответствии с описанным в § 20. Заземлитель решено выполнить из стержней диаметром 12 мм, длиной 5 м, соединенных стальной полосой 40×4 мм². Измерения производились прибором типа МС-08 в летнее время. Среднее измеренное удельное сопротивление оказалось равным (без учета коэффициентов) $\rho_{изм}=110$ Ом·м.

Далее необходимо учесть увеличение удельного сопротивления земли вследствие промерзания или высыхания, т. е. ввести сезонный коэффициент $k_с$. По наведенным справкам (на метеорологической станции) район относится к 1-й климатической зоне по табл. 1, § 10. В соответствии с этой таблицей для учета промерзания грунта принимаем при электродах из стержней длиной 5 м $k_с=1{,}35$.

Кроме того, надо учесть состояние земли во время измерений одним из коэффициентов k из табл. 2, § 10. Установлено по протоколу, что во время измерений земля была сухой, количество осадков ниже нормы; был рекомендован коэффициент $k_з=0{,}95$ (для вертикальных электродов-стержней).

Теперь можно получить расчетное значение удельного сопротивления земли для вертикальных электродов:

$$\rho_{расч}=k_с\,k_з\,\rho_{изм}=1{,}35\cdot0{,}95\cdot110=141\ \text{Ом·м}.$$

Если указанные коэффициенты были учтены при измерениях, то удельное сопротивление земли принимается по данным протокола измерений. Отсюда, пользуясь приближенной формулой из табл. 4, § 11, получим сопротивление одиночного стержня:

$$r_в\approx\frac{\rho_{расч}}{l}=\frac{141}{5}=28{,}2\ \text{Ом}.$$

Примем расположение стержней в один ряд с расстоянием между ними 5 м, т. е. равным длине стержня. Для учета взаимного влияния стержней примем по [Л. 5] коэффициент использования $\eta=0{,}56$. Это означает, что действительное сопротивление одного стержня в заземлителе из ряда стержней вследствие их взаимного влияния будет равно:

$$r_в=\frac{28{,}2}{0{,}56}=50{,}5\ \text{Ом}.$$

Число стержней для получения $R_з=4$ Ом

$$n=\frac{r_в}{R_з\,\eta}=\frac{28{,}2}{4\cdot0{,}56}=12{,}6.$$

Примем предварительно 12 стержней. Но пока не учитывалось сопротивление растеканию полос, длина которых при 12 стержнях равна 55 м. Найдем сопротивление растеканию этих полос. Из табл. 1 находим сезонный коэффициент для полосы такой длины

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

$k_c = 4{,}5$, а коэффициент, учитывающий состояние земли при измерениях, согласно табл. 2, § 10 $k_з = 0{,}8$. Таким образом, расчетное значение удельного сопротивления земли для полос данного заземлителя равно:

$$\rho_{расч} = k_c k_з 110 = 4{,}5 \cdot 0{,}8 \cdot 110 \approx 400 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Кроме того, необходимо учесть взаимное влияние полос и стержней. Оно учитывается в данном случае коэффициентом 0,62 [Л. 5].

Тогда сопротивление полос в заземлителе

$$r_{п.з} = 2\rho_{расч}/l\eta = 2 \cdot 400/55 \cdot 0{,}62 = 23{,}4 \text{ Ом}.$$

Стержни и полосы можно рассматривать как два параллельно включенных сопротивления. Тогда на основании известной формулы $\frac{1}{R_з} = \frac{1}{r_{в.з}} + \frac{1}{r_{п.з}}$ необходимое общее сопротивление стержней $r_{в.з}$ может быть принято равным:

$$r_{в.з} \leqslant \frac{R_з r_{п.з}}{r_{п.з} - R_з} = \frac{4 \cdot 23{,}4}{23{,}4 - 4} = 4{,}7 \text{ Ом}.$$

Уточненное число стержней должно быть, таким образом, равно:

$$n = \frac{28{,}2}{4{,}7 \cdot 0{,}56} = 10{,}7,$$

т. е. можно принять 11 стержней, но длину полос оставить равной 55 м (см. рис. 23).

Действительное сопротивление заземлителя должно проверяться после его сооружения измерением на месте. Если оно оказалось недостаточным, присоединяются дополнительные электроды.

Приведенный выше расчет выполнен исходя из того, что поблизости нет надежных естественных заземлителей ($r_{ест}$). Если же они имеются, необходимо произвести измерение их сопротивления. Если сопротивление их достаточно (для данного примера 4 Ом и ниже), то **устройство искусственных заземлителей не требуется.** Если оно недостаточно, тогда добавляют искусственный заземлитель. Его сопротивление рассчитывается по формуле

$$r_{иск} = \frac{R_з r_{ест}}{r_{ест} - R_з}.$$

Дальнейший расчет искусственного заземлителя производится так же, как было сделано выше.

Глава четвертая

ИСПЫТАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ

17. Установка сдается в эксплуатацию

1. **Перед вводом установок в эксплуатацию** проводятся испытания и измерения заземляющих устройств и других защитных мер электробезопасности.

Заземляющие устройства должны подвергаться тщательному осмотру, проверке соответствия ПУЭ и данным проекта. При этом проверяются сечения, целость и прочность защитных проводников, всех соединений, присоединений к корпусам, надежность присоединений естественных заземлителей и проводников, целость пробивных предохранителей. Производятся измерения сопротивления заземлителей (без отсоединения естественных заземлителей), проверяется исправное действие всех защитных мер. В сетях 660, 380 и 220 В с заземленной нейтралью производится выборочное измерение сопротивления цепи фаза — нуль, а также измерение сопротивлений повторных заземлений нулевого провода.

При сдаче в эксплуатацию предъявляются:

исполнительные чертежи и схемы заземляющих устройств, а также документация по всем другим защитным мерам. В исполнительных чертежах следует указывать глубину заложения электродов, места присоединений естественных заземлителей и выводов из зданий;

акты на скрытые работы;

акты проверки открыто проложенных защитных проводников;

протоколы измерения сопротивления заземлителей;

протоколы проверки наличия цепи между заземлителями и заземляемым оборудованием;

акты на исправное действие всех примененных в установке защитных мер электробезопасности;

протоколы измерения изоляции.

2. **В эксплуатации электроустановок** необходимо прежде всего стремиться к предотвращению замыканий на землю и на корпус. Это может быть достигнуто главным образом путем тщательного и своевременного контроля состояния изоляции сети и оборудования; нарушения изоляции должны устраняться в кратчайший срок.

В процессе эксплуатации должны производиться периодические проверки и испытания заземлителей

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

ляющих устройств и других защитных мер, имеющие целью проверку отсутствия повреждений, разрывов (в основном после переустройств и ремонтных работ), сохранения величины сопротивления заземляющих устройств, исправности работы аппаратов, защитного отключения и др. Это тем более необходимо потому, что обрывы и нарушения контактов в защитной сети и другие неисправности защитных мер не приводят, как правило, к нарушению нормальной работы оборудования и остаются незамеченными.

На каждое отдельное устройство должен быть составлен **паспорт**, содержащий схему устройства, основные технические и расчетные данные, данные о результатах осмотров и испытаний, сведения о произведенных ремонтах и внесенных изменениях.

Сроки периодических испытаний и осмотров устанавливаются Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей, Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей, а также и отраслевыми правилами. Результаты испытаний и измерений должны оформляться протоколами, а дефекты устраняться в кратчайший срок.

Сокращенные сроки испытаний требуются в местах, где заземлители могут подвергаться интенсивной коррозии, а также в установках, где заземлители выполнены с искусственной обработкой земли.

Внеплановые измерения сопротивления заземляющих устройств должны производиться после их переустройства или капитального ремонта. Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленным оборудованием, а также состояния пробивных предохранителей должны производиться при каждом ремонте оборудования (текущем и капитальном).

Проверка надежности присоединений естественных заземлителей производится после каждого их ремонта.

Осмотр с проверкой исправности надземной части заземляющего устройства должен производиться одновременно с проверкой электрооборудования, для которого оно предназначено, а также всякий раз при перестановке электрооборудования.

Состояние пробивных предохранителей должно проверяться по возможности часто. Практика эксплуатации показывает, что пробой этих предохранителей происходит по разным причинам довольно часто и установка переходит в режим с заземленной нейтралью без зануления, а это, как мы видели (§ 6), создает опасные условия.

3. Перед началом ремонтных работ в электрических установках в ряде мест приходится выполнять временные заземления. К этим местам должны быть подведены заземляющие проводники, а на них предусмотрены зачищенные и смазанные вазелином места для присоединения переносных заземляющих и закорачивающих проводников.

Наложение временных заземлений должно производиться с соблюдением требований Правил технической эксплуатации и техники безопасности. Проводники переносных заземлений должны быть медными, гибкими, устойчивыми к нагреву при коротких замыканиях и иметь сечение не менее 25 мм^2.

18. Контроль изоляции

В обеспечении безопасности эксплуатации и надежности электроснабжения важнейшее значение принадлежит сохранению изоляции сетей и электроприемников на надлежащем уровне.

Этой цели служат профилактические испытания изоляции с отключением испытуемых участков и непрерывный контроль изоляции, т. е. контроль при нормально работающем оборудовании.

К величине сопротивления изоляции сетей или отдельных электроприемников в зависимости от их ответственности, условий эксплуатации, стоимости и прочих факторов предъявляются разные требования. Так, для сетей напряжением до 1000 В требуется иметь сопротивление изоляции не ниже 0,5 МОм при измерении мегомметром 500—1000 В. При этом всегда речь идет не о сети в целом, а об участках ее за защитным аппаратом — автоматом или предохранителем при снятом напряжении. Сеть в целом в работе будет иметь сопротивление изоляции значительно более низкое.

Для электроинструмента в связи с большей опасностью при пользовании им согласно требованиям ГОСТ 10084-62 требуется более высокое сопротивление изоляции — не менее 1 МОм, а для электроинструмента с двойной изоляцией — 2 МОм.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Непрерывный контроль изоляции возможен только в сетях с изолированной нейтралью. Он основан на измерении тем или иным способом активных токов утечки на землю сети в целом; иными словами, устройства непрерывного контроля не обладают избирательностью.

В сетях с заземленной нейтралью производить непрерывный контроль изоляции невозможно, так как фазные провода многократно связаны с землей через сопротивления однофазных электроприемников и связи с землей нулевого провода как при нормальных состояниях изоляции, так и при ее нарушениях. В то же время сопротивления в нейтрали трансформатора или генератора имеют величину всего 2÷8 Ом. Таким образом, любой прибор контроля, который был бы включен для измерения изоляции, шунтировался бы малыми сопротивлениями связей с землей. В сетях с заземленной нейтралью возможно ограничить величину токов утечки с помощью специальных фильтров и устройств защитного отключения (§ 7) избирательно, т. е. на любом ответвлении, независимо от состояния сети в целом.

Рассмотрим некоторые из схем контроля изоляции в сетях с изолированной нейтралью. Эти схемы должны содержать связь с землей, но эта связь не должна сама приводить к недопустимому снижению сопротивления изоляции. Иными словами, схемы и устройства должны иметь достаточно высокое входное (внутреннее) сопротивление; оно определяется требованиями, которые предъявляются к сопротивлению изоляции данной сети в эксплуатации.

По этой причине непригодны, например, схемы с контролем изоляции с помощью ламп накаливания; газоразрядные лампы, как имеющие высокое сопротивление, в этом смысле более пригодны, но неудобны в эксплуатации из-за высокого порога зажигания.

Наиболее прост способ контроля изоляции с помощью вольтметров. При нормальном и равном состоянии изоляции сети трехфазного тока (рис. 48, *а*) вольтметры дают одинаковые показания напряжения фаз по отношению к земле. При снижении сопротивления изоляции одной из фаз сети трехфазного тока показания вольтметра этой фазы снижаются, показания вольтметра двух исправных фаз возрастают. При полном замыкании на землю одной из фаз стрелка вольтметра этой фазы станет на нуль, вольтметры неповрежденных фаз покажут линейное напряжение. Аналогично производится контроль изоляции сети постоянного тока с помощью двух вольтметров (рис. 48, *б*).

Вольтметры должны иметь достаточно высокое сопротивление (не менее нескольких килоом) сами по себе или с помощью добавочных сопротивлений.

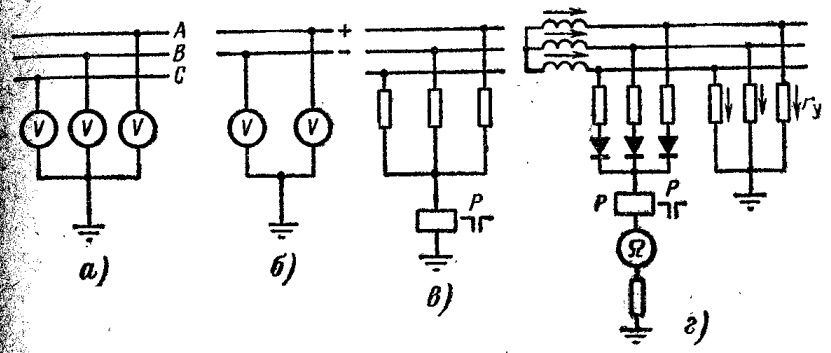


Рис. 48. Схемы непрерывного контроля изоляции и сигнализации повреждений.

а, *б* — вольтметрами соответственно при трехфазном и постоянном токе; *в* — с помощью сигнального реле, включенного через сопротивления или емкости (асимметр); *г* — наложением постоянного (выпрямленного) тока на сеть переменного тока; $r_у$ — сопротивление утечки.

В установках напряжением выше 1000 В вольтметры включаются через трансформаторы напряжения с заземлением нейтрали вторичной обмотки.

Схемы с вольтметрами просты, дешевы и наглядны, но имеют тот недостаток, что дают равные показания при одинаковом снижении сопротивления изоляции на всех фазах или полюсах (правда, это случай довольно редкий). Они одни не могут служить целям контроля там, где требуется сигнализация или отключение при снижении сопротивления изоляции ниже определенной величины. Для таких целей применяются различные устройства в дополнение к вольтметрам или без них.

На рис. 48, *в* показан асимметр, схема его содержит три сопротивления (или емкости), в нейтральный провод которых включена катушка реле с замыкающим контактом, включенным в цепь катушки выключателя. При замыкании на землю в сети через реле, землю и место замыкания проходит ток, контакты реле *P* замыкаются на цепь катушки отключения защитного аппарата.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

На рис. 48, *г* показана схема с наложением постоянного (выпрямленного с помощью диодов) тока на сеть переменного тока. Она также содержит реле *Р* и в том или ином сочетании активные сопротивления. Такие схемы с самостоятельной цепью контроля не зависят от емкости сети, поэтому могут содержать и миллиамперметр, градуированный в килоомах, т. е. показывать также сопротивление изоляции. Схемы эти при замыканиях на землю могут действовать на сигнал или на отключение (при времени срабатывания до 0,2 с и достаточной чувствительности они применяются также в качестве систем защитного отключения).

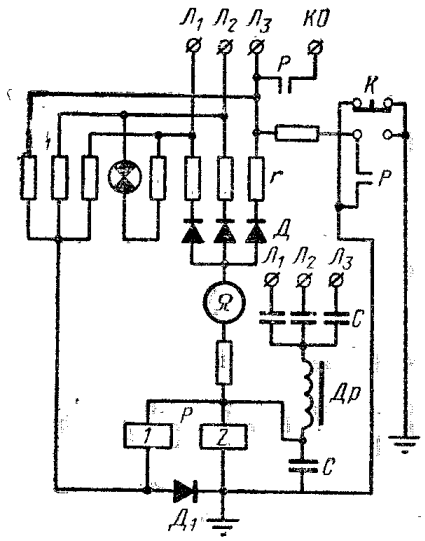


Рис. 49. Схема контроля изоляции УАКИ.

На этом же принципе основаны выпускаемые для шахтных установок 380 и 660 В устройства автоматического контроля изоляции УАКИ (рис. 49) во взрывозащищенном исполнении. Устройство содержит выпрямительную схему из трех диодов *Д* и резисторов *r* и ветвь (фильтр) из трех резисторов r_1 и диода $Д_1$. В схеме применено двухобмоточное реле *Р*. Обе обмотки *1* и *2* обтекаются током, и их результирующий магнитный поток недостаточен для срабатывания реле. При снижении сопротивления изоляции увеличивается ток утечки и ток через обмотку *2*. Когда он становится больше тока, проходящего со стороны фильтра, диод $Д_1$ закрывается, реле срабатывает и воздействует на отключающую катушку линейного автомата. Устройство содержит дроссель *Др*, включенный в сеть через емкости *С*. Проверка срабатывания производится кнопкой *К*.

Реле срабатывает при несимметричной утечке при 6,2÷7,5 кОм (УАКИ-380) и 11÷14 кОм (УАКИ-660), при симметричной утечке — соответственно при 10,5 и 30 кОм.

Для контроля изоляции сетей постоянного тока может применяться обратный принцип — наложение переменного тока на сеть постоянного тока. Пример устройства, основанного на этом принципе, показан на рис. 50. Устройство содержит источник переменного тока *Г*, конденсатор *С*, резистор *r* и в качестве измерительного прибора ваттметр *W*, градуированный в килоомах. Сопротивления утечки обозначены $r_у$.

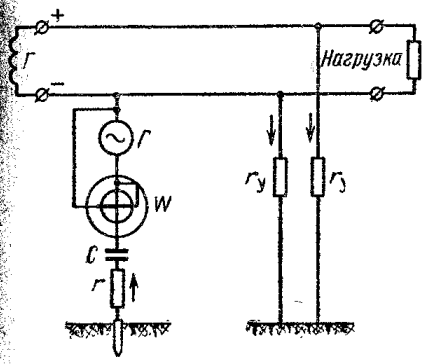


Рис. 50. Контроль изоляции сети постоянного тока с помощью наложения переменного тока.

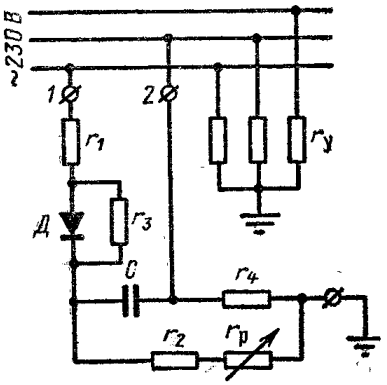


Рис. 51. Принципиальная схема прибора М-143М.

В передвижных станциях применяется прибор типа М-143М — указательный щитовой мегомметр, устойчивый к воздействию тряски и вибрации. Он устанавливается на бензоэлектрических агрегатах переменного одиофазного и трехфазного тока частотой 50, 200 или 500 Гц, напряжением 230 В или 50 Гц и напряжением 400 В (рис. 51). Диапазон измерений — от нуля до 2 МОм. Прибор включается на любые две фазы сети и к корпусу. Переменный ток проходит от зажима *1* через диод *Д* и в течение первой половины периода заряжает конденсатор *С*. При разряде конденсатора за каждую вторую половину периода проходит оперативный ток через добавочный резистор r_2, рамку прибора $r_р$, землю, сопротивление изоляции установки $r_у$, все три фазы контролируемой сети, зажим *2*. Резистор r_4 служит для умень-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

шения зависимости показаний мегомметра от формы кривой напряжения. Ток, пропорциональный сопротивлению изоляции сети, вызывает соответствующее отклонение стрелки мегомметра. Масса прибора 0,6 кг.

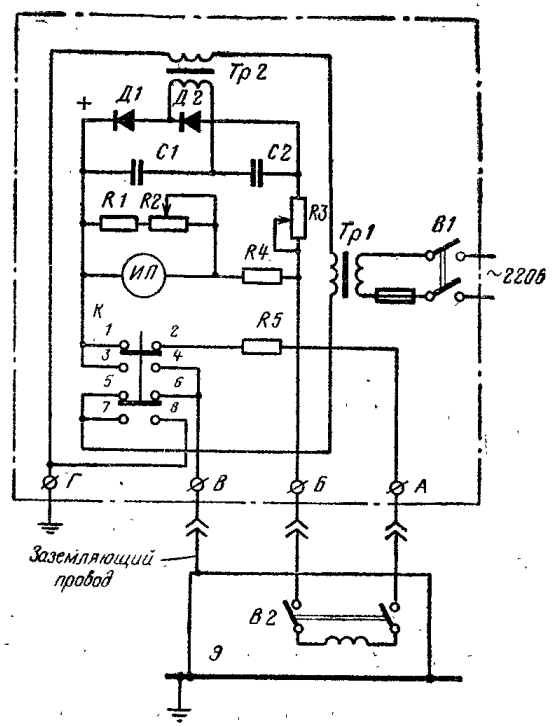


Рис. 52. Принципиальная схема прибора «Нормометр».

Ниже описывается прибор[1], именуемый «Нормометр», позволяющий производить измерение сопротивления изоляции и целости и сопротивления заземляющей проводки переносных электроприемников в сетях с заземленной нейтралью.

Схема прибора (рис. 52) содержит: два трансформатора *Тр1* (220/1,5 В) и *Тр2* (1,5/220 В); двухполупериодный выпрямитель с удвоением напряжения *Д1—Д2—С1—С2*, дающий возможность получить на выходе напряжение постоянного тока ~550 В; микроамперметр *ИП* 50 мкА с нанесенными двумя шкалами — в мегомах (для измерения сопротивления изоляции) и в омах (для измерения сопротивления заземляющей цепи); калиброванный резистор *R5*, 1 МОм (соответствует необходимой величине сопротивления изоляции электроинструмента); резисторы *R1*, *R2*, *R3* и *R4* — для компенсации изменения напряжения сети, настройки прибора и установки на нуль.

[1] Кондрашов И. А. Магнитоэлектрический прибор для измерения сопротивления изоляции. А. С. № 290238 (СССР). Опубл. в бюлл. «Открытия. Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1971, № 2.

Проверяемый электроинструмент *Э* укладывается на заземленную пластину и штепсельным соединением присоединяется к зажимам *А*, *Б* и *В* прибора. При включении *В1* образуются три цепи: *Тр1* — первичная обмотка — *Тр2* — зажим *Г* — земля (плита) — корпус *Э* — защитный проводник — зажим *В* — контакты *5—6* кнопки *К* — *Тр1*; плюс выпрямителя — прибор *ИП* и параллельно присоединенные к нему *R1* и *R2—R4—R3* — минус; плюс — контакты *1—2* кнопки *К* — *R5* — зажим *А* — обмотка *Э* — зажим *Б* — *R3* — минус.

Стрелка прибора должна устанавливаться посредине шкалы. Это означает, что цепь заземления исправна, обмотка *Э* присоединена к схеме, и через калиброванное сопротивление проходит ток установленной величины. При нарушении этих предварительных условий стрелка прибора не остановится посредине шкалы, что свидетельствует о наличии неисправности, и проверка прекращается.

Для измерения сопротивления заземляющей цепи отключается *В2*, в работе остаются только цепи *1* и *2*; прибор покажет сопротивление заземляющей цепи в омах.

Для измерения сопротивления изоляции электроинструмента включают снова *В2*, нажимают кнопку *К*. При этом размыкаются контакты *1—2* и *5—6* и замыкаются контакты *3—4* и *7—8*; этим прерывается третья цепь (см. выше) и образуется цепь: плюс — контакты *3—4* — зажим *В* — защитный проводник — корпус *Э* — сопротивление изоляции *Э* — зажим *Б* — *R3* — минус. Замыканием контактов *7—8* обеспечивается питание схемы. Прибор покажет сопротивление изоляции в мегомах.

Потребляемая мощность прибора не более 3 Вт. Пределы измерения 0—25 Ом и 0—25 МОм, габариты 190×90×55 мм, масса — 1,3 кг.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

19. Измерение сопротивления заземляющего устройства

Существует ряд способов измерения сопротивления заземляющих устройств. Ниже приводится описание измерения одним из широко применяемых в практике приборов — измерителя заземлений типа МС-07 (МС-08).

Прибор *Л* (рис. 53) работает по принципу магнитоэлектрического логометра. Прибор содержит две рамки,

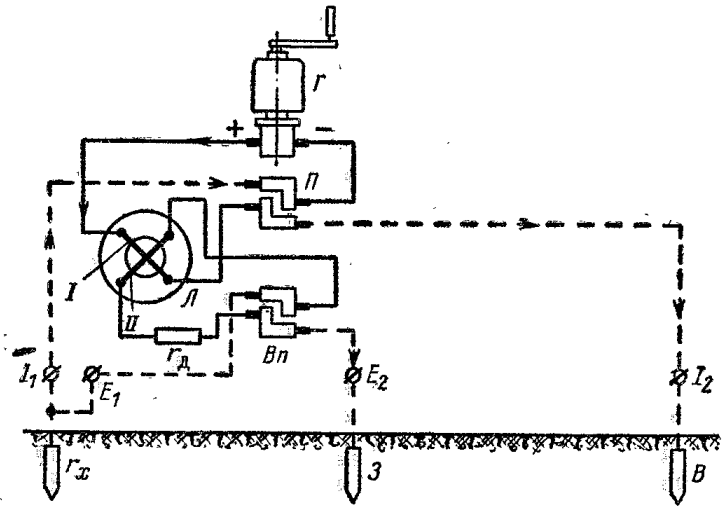


Рис. 53. Принципиальная схема измерителя заземлений типа МС-07 (МС-08).

одна из которых *I* включается как амперметр, вторая *II* как вольтметр. Эти обмотки действуют на ось прибора в противоположных направлениях, благодаря чему отклонения стрелки прибора пропорциональны сопротивлению (величина U/I); шкала прибора градуирована в омах. Источником питания при измерении служит генератор *Г* постоянного тока, приводимый во вращение от руки. На общей оси с генератором укреплены прерыватель *П* и выпрямитель *Вп*.

Для измерения сопротивления заземлителей или заземляющих устройств требуется еще два электрода — зонд *З* и вспомогательный электрод *В*. Зонд служит для получения в схеме точки с нулевым потенциалом, по отношению к которой может быть измерен потенциал испытуемого заземлителя. В качестве зонда может служить стальной стержень с заостренным концом, забиваемый в землю.

Вспомогательный электрод служит для создания цепи измерительного тока.

Измерительная цепь проходит от зажима «плюс» генератора через рамку *I*, вспомогательный электрод, испытуемый заземлитель, прерыватель и «минус» генератора.

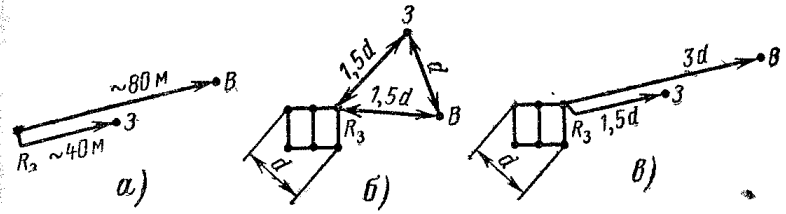


Рис. 54. Схемы расположения измерительных электродов.

а — при одиночном электроде; *б*, *в* — при заземлителях из нескольких (многих) электродов; $R_з$ — испытуемый заземлитель; *З* — зонд; *В* — вспомогательный электрод.

тора. Рамка *I* получает постоянный ток от генератора, затем прерыватель *П* преобразует ток в переменный, который поступает в землю через вспомогательный электрод *В*. В рамку *II* подается выпрямленное через выпрямитель *Вп* напряжение между испытуемым заземлителем и зондом. Таким образом, благодаря наличию прерывателя и выпрямителя через рамки логометра проходит постоянный ток (сплошные линии), а через землю — переменный (штриховые линии). Наличие выпрямителя препятствует попаданию блуждающих токов в рамку *II*.

Для уменьшения погрешности последовательно с рамкой *II* включен добавочный резистор $r_д$, сопротивление которого равно 150 кОм.

Расстояния зонда и вспомогательного электрода от испытуемого заземлителя имеют важное значение для точности измерений. Расстояния должны быть такими, чтобы исключить влияние потенциала вспомогательного электрода на испытуемый и на результаты измерений (рис. 54).

Уменьшение указанных расстояний ведет к увеличению погрешности при измерениях. Измерения произво-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

дят по краям заземлителя в разных точках, не загруженных подземными коммуникациями. Проводники должны быть изолированными, гибкими сечением 1,5—2,5 мм².

20. Измерение удельного сопротивления земли

Измерить удельное сопротивление земли можно прибором типа МС-08 (или другим подобным) методом четырех электродов (рис. 55). Измерение следует проводить в теплое время года.

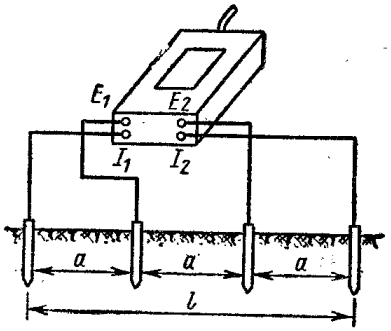


Рис. 55. Схема измерения удельного сопротивления земли прибором МС-08.

Если пропускать ток через крайние электроды, то между средними возникает разность напряжений U. Значения U в однородной земле (слое) прямо пропорциональны удельному сопротивлению ρ и току I и обратно пропорциональны расстоянию a между электродами:

$$U = \rho I/2\pi a \text{ или } \rho = 2\pi a U/I = 2\pi a R,$$

где R — показания прибора.

Чем больше значение a, тем больший объем земли охватывается электрическим полем токовых электродов. Благодаря этому, изменяя расстояние a, можно получить значения удельного сопротивления земли в зависимости от разноса электродов. При однородной земле вычисленное значение ρ не будет изменяться при изменении расстояния a (изменения могут быть вследствие разной степени влажности). В результате измерений, используя зависимость ρ от расстояния между электродами, можно судить о величинах удельных сопротивлений на разной глубине.

Измерение следует производить в стороне от трубопроводов и других конструкций и частей, которые могут исказить результаты.

Удельное сопротивление земли можно приближенно измерить методом пробного электрода. Для этого электрод (уголок, стержень) погружают в землю в приямок так, чтобы его верх находился на глубине 0,6—0,7 м от уровня земли, и измеряют прибором типа МС-08 сопротивление электрода $r_в$, как указано в § 19. А затем, пользуясь данными (см. табл. 4, § 11) приближенных значений сопротивлений вертикальных электродов, можно получить приближенное значение удельного сопротивления земли.

Пример. В землю погружен уголок длиной 3 м. Сопротивление, измеренное прибором МС-08, оказалось равным 30 Ом. Тогда можем написать, исходя из данных табл. 4, § 11:

$$\rho_{изм} \approx r_в l = 30 \cdot 3 = 90 \text{ Ом·м}.$$

Измерения желательно производить в двух-трех местах и принимать среднее значение. Пробные электроды следует погружать забивкой или вдавливанием, чтобы создавать плотное соприкосновение с землей; ввертывание стержней для целей измерения не рекомендуется.

Применять аналогичный метод измерений с укладкой в землю полос не следует: метод трудоемок и малонадежен, так как надлежащий контакт полосы с землей после засыпки и трамбовки может быть достигнут только через некоторое время.

Для учета состояния земли во время измерений принимается один из коэффициентов k из табл. 2, § 10.

Таким образом, удельное сопротивление земли равно:

$$\rho = k\rho_{изм}.$$

В протоколе указываются состояние земли (влажность) при измерениях и рекомендуемый сезонный коэффициент промерзания или высыхания земли $k_с$ из табл. 1, § 10, по данным местной метеорологической станции.

21. Измерение сопротивления цепи «фаза — нуль»

Измерение сопротивления цепи «фаза — нуль» — это основная проверка действия системы зануления, т. е. отключения аварийного участка при за-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

мыкании на корпус. Это измерение дает возможность проверить правильность выбора плавких вставок предохранителей и уставок расцепителей автоматов, т. е. не завышены ли их номинальные токи сверх необходимости (такие случаи

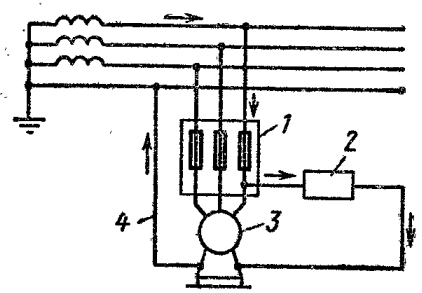


Рис. 56. Схема измерения сопротивления цепи фаза — нуль.

1 — защитный аппарат — предохранители или автомат; *2* — прибор для измерения сопротивления цепи фаза — нуль; *3* — электроприемник; *4* — защитный проводник.

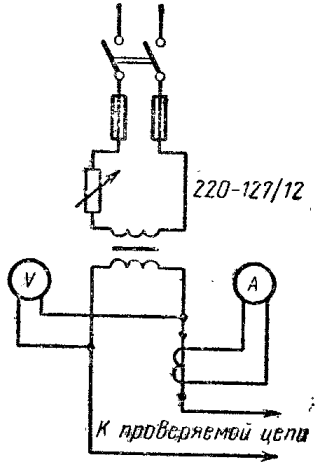


Рис. 57. Схема проверки целости сети заземления.

встречаются в эксплуатации часто, они приводят к затяжке, а то и вовсе к отказу отключения, что крайне опасно).

Для измерения сопротивления цепи «фаза — нуль» служат специальные приборы, например прибор типа М-417 завода «Мегомметр» и др. Измерение производится без отключения напряжения (рис. 56).

Пример. Имеется двигатель мощностью 40 кВт, 380 В, его номинальный ток 75 А. Помещение с нормальной средой. Защита может быть выполнена либо предохранителями с номинальным током плавких вставок 200 А, либо автоматом с номинальным током 100 А с комбинированными расцепителями — тепловым на ток 100 А и электромагнитным на ток 800 А.

(Внимание! Предохранители или расцепители автоматов должны быть на всех трех фазах).

Измеренное сопротивление цепи «фаза — нуль» $r_{изм}$ оказалось

равным 0,6 Ом, т. е. при фазном напряжении $U_ф = 220$ В ток замыкания на корпус двигателя окажется равным:

$$I_з = U_ф / r_{изм} = 220/0,6 = 367 \text{ А}.$$

Согласно ПУЭ для обеспечения отключения необходимо, чтобы ток однофазного замыкания был в 3 раза выше номинального тока ближайшей плавкой вставки предохранителя или теплового расцепителя автомата. Таким образом, требование ПУЭ удовлетворяется только при защите автоматом, так как 200×3=600 А.

Ток 367 А недостаточен и для срабатывания электромагнитного расцепителя, ток срабатывания которого 800 А, т. е. в данном случае мгновенное отключение невозможно. Для его получения кратность тока замыкания по отношению к номинальному току расцепителя должна была бы составить не менее 1,25 (см. § 6), т. е. в данном примере 800×1,25=1000 А. Таким образом, защита выполняется тепловым расцепителем с выдержкой времени.

22. Проверка исправности сетей заземления и зануления и контактов

Проверку целости сетей заземления и зануления и наличия надлежащего контакта в местах присоединений удобно проводить по схеме рис. 57. В проверяемую цепь подается напряжение через реостат и понижающий трансформатор с вторичным напряжением 12 В мощностью 300—500 В·А. Отсутствие тока, колебание стрелки амперметра или малое значение тока указывают на разрыв или плохой контакт. В месте плохого контакта обычно возникает искрение либо нагрев вплоть до красного каления.

Часто выдвигается требование о нормировании сопротивления контактов сети заземления и зануления. Осуществление такого нормирования вызвало бы большие затруднения. Дело в том, что одно только сопротивление контакта еще не говорит о его качестве. Чтобы считать контакт удовлетворительным, необходимо соблюдать следующие условия:

он должен иметь сопротивление не более чем подводящий проводник на длине, равной длине контакта;

температура контакта не должна превышать допустимой при нагреве номинальным током;

контакт должен быть стабильным.

Предъявление подобных требований вызвало бы неоправданные осложнения при сдаче смонтированной установки в эксплуатацию из-за сложности измерений.

Встречающаяся в некоторых изданиях норма сопротивления контакта 0,05 Ом недопустимо велика. Во вся-

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

ком случае сопротивление хорошего болтового контакта в сети заземления и зануления не должно быть выше нескольких миллиом.

Сопротивление контактов учитывается при измерениях сопротивления заземляющего устройства, в которое входит сопротивление заземляющих проводников и сопротивление заземлителя, либо при измерениях сопротивления цепи «фаза — нуль». Если эти величины удовлетворяют требованиям ПУЭ, следовательно, и контакты, составляющие часть цепи, находятся в надлежащем состоянии.

Приложение

Ответы на вопросы

В данном приложении приводятся ответы на некоторые из числа часто задаваемых автору вопросов на лекциях, семинарах, через журналы и др. Ответы основаны на указаниях действующих правил и норм.

А. Общие вопросы

Вопрос. Чем следует руководствоваться при наличии расхождений между требованиями по одному и тому же вопросу Правил устройства электроустановок и других документов?

Ответ. При наличии подобных расхождений следует руководствоваться требованиями Правил устройства электроустановок (исключение — наличие специальных указаний по рассматриваемому вопросу).

Вопрос. Требуется ли с выходом новой редакции ПУЭ, СНиП или ПТЭ вносить изменения в действующую установку, если установка этим новым требованиям не удовлетворяет?

Ответ. Правила устройства и те части ПТЭ, которые содержат требования по устройству, относятся только к вновь сооружаемым или реконструируемым установкам. Это, разумеется, не исключает выполнения переделок, если, например, обнаружится, что действующая установка в каких-либо частях явно не удовлетворяет требованиям электробезопасности. Такие переделки могут выполняться при капитальных и текущих ремонтах. Изменения следует также выполнять, если они предписаны аварийными и эксплуатационными циркулярами или другими обязательными руководящими документами.

Вопрос. В литературе и в официальных документах встречаются разные термины: «заземляющее устройство», «заземлитель», «контур» и совсем непонятный «очаг заземления». Какой термин и когда надо применять?

Ответ. Термин «очаг заземления» применяется действительно в одном документе — ценнике на наладочные работы (Госстрой СССР, 1971). Составители ценника имели в виду применение термина «очаг» в тех случаях, когда речь идет о заземлителях одностоечных опор и других подобных заземлителях малых размеров. Однако как термин «очаг», так и широко применяемый термин «контур»

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

крайне неудачны и не нужны, так как оба они имеют в виду заземлитель. Поэтому в новой редакции ПУЭ термина «контур» нет и применяются термины «заземлитель» и «заземляющее устройство».

Вопрос. Можно ли объединять заземлители сетей переменного и постоянного тока?

Ответ. Прохождение постоянного тока в земле может служить источником электролитической коррозии подземных сооружений. Опасность коррозии существует в установках, в которых через заземляющие проводники и заземлители возможно длительное прохождение тока, например, если один полюс установки заземлен, т. е. если заземление является рабочим. В таких случаях не следует допускать соединения заземляющих устройств постоянного и переменного тока.

В установках, где электроприемники постоянного и переменного тока металлически связаны и изоляция электроприемников постоянного тока и их сетей может поддерживаться на надлежащем уровне, а заземление электроприемников постоянного тока является защитным, т. е. ток возникает только кратковременно, могут быть применены общие заземляющие устройства.

Вопрос. В ПУЭ и других документах приводятся требования к сопротивлению заземляющих устройств. Какое сопротивление должен иметь сам заземлитель?

Ответ. Из определения заземляющего устройства как совокупности заземлителя и заземляющих проводников следует, что сопротивление заземлителя должно быть равно разности сопротивлений: требуемого по ПУЭ минус сопротивление заземляющих проводников.

Надо при этом иметь в виду, что речь идет о полном, т. е. активном и реактивном сопротивлении проводников.

Вопрос. Нужно ли иметь отдельное заземляющее устройство для защиты от статического электричества?

Ответ. Не нужно. Для защиты от статического электричества требуется иметь сопротивление заземляющего устройства порядка 100 Ом, т. е., как правило, много выше, чем для заземления электрооборудования. Поэтому последнее используется для защиты от статического электричества.

Вопрос. Допускается ли работа сети 660 В с заземленной нейтралью?

Ответ. В новой редакции ПУЭ допущена работа сети 660 В как с изолированной, так и с заземленной нейтралью. В последнем случае в связи с отсутствием опыта можно рекомендовать:

1) применять напряжение 660 В только в производственных установках;

2) не применять напряжение 660/380 В на воздушных линиях;

3) питающие трансформаторы применять со схемой соединений обмоток треугольник—звезда, чтобы уменьшить сопротивление цепи «фаза—нуль» (см. § 6).

Вопрос. Как следует правильно выполнить заземление электродвигателя на станке — заземлять ли корпус электродвигателя или станину станка?

Ответ. Надо руководствоваться принципом, согласно которому следует заземлять предпочтительно тот корпус, на котором возможны повреждение изоляции и возникновение напряжения по отношению к земле, в данном случае — электродвигатель.

В ПУЭ (§ I-7-29) допускается не заземлять отдельные электроприемники, если они установлены на заземленной конструкции. В основном это относится к случаю нескольких или многих электроприемников, установленных на одной конструкции. На крупных станках с несколькими электродвигателями и другим электрооборудованием часто проще заземлить корпус станка, чем каждый электроприемник. Если заземлена конструкция щита, заземление отдельных приборов не требуется.

Вопрос. В ПУЭ требуется, чтобы заземляющие проводники были доступны для осмотра. Можно ли прокладывать стальные заземляющие проводники в местах пересечения ими проходов скрыто в полу или нужно как-то выполнять обходы сверху или иным путем?

Ответ. В новой редакции ПУЭ имеется разрешение укладывать стальные заземляющие проводники, служащие ответвлениями от магистралей заземления, в полах производственных помещений скрыто.

Вопрос. Чем обоснованы разные величины сопротивления заземляющих устройств для трансформаторов мощностью до 100 кВ·А и выше 100 кВ·А?

Ответ. В отношении установок с изолированной нейтралью увеличение сопротивления заземлителя до 10 Ом технически и экономически обосновано, так как при малой мощности трансформаторов меньше, как правило, длина сети и, значит, меньше токи утечки и емкостные токи по отношению к земле.

В отношении установок с заземленной нейтралью технических обоснований для увеличения сопротивления заземлителя при малых мощностях нет. В проекте новой редакции ПУЭ увеличение сопротивления заземляющих устройств при мощности до 100 кВ·А вообще исключено.

Вопрос. Следует ли заземлять корпуса задвижек с электроприводом на трубопроводах?

Ответ. Корпуса задвижек и других устройств дистанционного управления на трубопроводах подлежат заземлению (занулению) на общих основаниях.

Вместе с тем согласно ПУЭ (§ I-7-29) допускается не заземлять электроприемники, если они установлены на заземленных металлических конструкциях. Таким образом, если трубопровод имеет надежную по своей конструкции связь с заземляющим устройством питающей электроприемник подстанции, его можно использовать в качестве защитного проводника. В сетях с заземленной нейтралью необходимо еще проверить, достаточна ли проводимость трубопровода для отключения при однофазных замыканиях на корпус в электроприемнике, т. е. можно ли использовать трубопровод для зануления электродвигателя задвижки и другого электрооборудования, установленного на трубопроводе.

Вопрос. Каким способом можно осуществлять заземление металлических коробок при проводке в пластмассовых трубах.

Ответ. При проводках в пластмассовых трубах следует применять пластмассовые же коробки. Если их нет, необходимо прокладывать в трубах отдельные защитные проводники, к которым присоединяют корпуса коробок.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Б. Зануление

Вопрос. Возможно ли нагрузку, питаемую нормально от трансформатора с заземленной нейтралью, резервировать от трансформатора с изолированной нейтралью?

Ответ. Такое резервирование применять нельзя, так как корпуса электроприемников в сети с заземленной нейтралью должны быть занулены, т. е. соединены с заземленной нейтралью питающего трансформатора.

При изолированной нейтрали резервного трансформатора осуществлять такое соединение невозможно.

Вопрос. Нужно ли учитывать реактивное сопротивление цепи «фаза—нуль»?

Ответ. Цепь «фаза—нуль» содержит реактивные сопротивления трансформатора, стальных проводников (если они применены), внешнюю индуктивность цепи. Поэтому в расчетах эти сопротивления следует учитывать.

Вопрос. При сдаче в эксплуатацию установок напряжением 380/220 В с системой зануления, выполненного четвертой жилой кабеля (или с использованием алюминиевой оболочки), часто выдвигается еще требование устройства дополнительного заземления — прокладки стальных полос и присоединения к ним корпусов электрооборудования. Правильно ли это?

Ответ. ПУЭ не требуют устройства дополнительного заземления электроприемников, если выполнено их зануление с помощью четвертой жилы кабеля.

Вопрос. Почему не разрешается использование металлических конструкций зданий в качестве нулевого провода?

Ответ. Использование металлоконструкций зданий и сооружений в качестве одного из фазных или нулевого обратного провода допускается ПУЭ только при напряжениях не выше 42 В (§ II-1-27). Использование конструкций при более высоких напряжениях ухудшает условия электробезопасности и пожарной безопасности. Так: 1) прохождение длительно рабочих токов требует наличия надежных контактов во всех соединениях и стыках конструкций, что не может быть гарантировано; в местах плохих контактов могут произойти местные нагревы, что связано с возможностью возгораний; такие случаи были, например, при использовании конструкций в качестве обратных проводов при сварке; 2) прохождение рабочих токов вызывает падение напряжения в конструкциях, которые при значительных токах могут ощущаться и вызвать беспокойство у персонала; 3) присоединение электроприемников к конструкциям неудобно в монтаже, требует специального выполнения контактов и наблюдения за ними в эксплуатации.

Вопрос. Должен ли нулевой провод иметь изоляцию?

Ответ. В § II-1-27 ПУЭ указано, что нулевые провода должны иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводов. В новой редакции ПУЭ (§ I-7-52А) сказано: «Рабочие нулевые проводники должны иметь изоляцию наравне с фазной. Исключения допускаются для нулевых шин на щитах, в ящиках, шинопроводах и т. п., причем должен обеспечиваться надежный контакт между шинами и конструкцией, к которой они прикреплены».

Вопрос. Может ли осуществляться в одном помещении заземление одних электроприемников и зануление других?

Ответ. Надо прежде всего помнить, что в трансформаторе или генераторе с заземленной нейтралью заземление электроприемников без соединения с нейтралью (т. е. без зануления) недопустимо.

В одном помещении могут находиться электроприемники, питаемые от трансформаторов и генераторов с изолированной нейтралью и от трансформаторов и генераторов с заземленной нейтралью. Например, электроприемники 6 кВ и 380/220 В и др. Их сети заземления и зануления даже при желании разделить трудно и большей частью невозможно. Надо только, чтобы совмещенная сеть заземления и зануления удовлетворяла требованиям как к заземлению, так и занулению.

Вопрос. Можно ли использовать сеть заземления в качестве нулевого провода?

Ответ. Такое использование запрещается ПУЭ (§ I-7-68). Рабочие токи могут иметь значительную величину, например, при сварке, на которую сеть заземления не рассчитана. Это может вызвать недопустимые падения напряжения, возможны также местные перегревы и опасность возгораний, если вблизи таких мест имеются горючие материалы или конструкции.

Вопрос. Зануление электрооборудования часто выполняется стальными полосами, уложенными вдоль стен помещений с ответвлениями полосами к электроприемникам. Выполнить при этом требование Правил о 50% проводимости зануляющего проводника по отношению к проводимости фазного провода трудно, вернее даже невозможно. Является ли это нарушением Правил?

Ответ. ПУЭ допускают выполнение занулений электроприемников с помощью стальных отдельно проложенных проводников. Имеется в виду, что такой способ зануления выполняется только в производственных помещениях, где эти проводники, корпуса оборудования, металлоконструкции, трубопроводы, в том числе трубы электропроводок, металлические оболочки кабелей связаны во многих местах и тем самым создают выравнивание потенциалов и многие пути прохождения тока однофазного замыкания. Этим обеспечиваются условия безопасности. Сечения и диаметры стальных проводников приведены в § 13, табл. 9.

В других условиях, где нет указанных благоприятных факторов, следует выполнять зануление с помощью защитного провода, находящегося в одной оболочке с фазными.

Вопрос. Требуется ли для зануления корпусов трехфазных электроплит прокладка отдельного защитного проводника или для зануления может быть использован нулевой провод?

Ответ. Госэнергонадзор в разъяснениях к ПТЭ потребителей (Информационное письмо № Т-49-71 от 16/III 1971 г.) указал на необходимость установки при питании электроплит отдельного коммутационного аппарата, который должен отключать фазные и нулевой проводники. Защитный проводник должен быть без разрывов присоединен к корпусу электроплиты и к нулевому проводу этажного щита или щита на вводе.

Таким образом, к трехфазной электроплите, учитывая возможность значительной неравномерности нагрузки и, как следствие, возникновение напряжения на нулевом проводе, следует подводить пять

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

проводов — три фазных, нулевой и защитный. При этом нулевой провод должен иметь изоляцию, одинаковую с фазными проводами.

Вопрос. Как практически выполнять требование § I-7-52 старой редакции ПУЭ о соединении всех металлоконструкций и трубопроводов с нулевым проводом?

Ответ. Соединение всех металлических конструкций, трубопроводов с нулевым проводом имеет важное значение для обеспечения электробезопасности, так как приводит к выравниванию потенциалов. Выполнять специальное соединение всех конструкций и трубопроводов, конечно, невозможно. Поэтому в новой редакции ПУЭ (§ I-7-28А) указано, что в качестве такого соединения могут также использоваться естественные контакты отдельных конструкций и частей установки.

В. Взрывоопасные установки

Вопрос. Чем отличаются требования к защитным мерам во взрывоопасных установках?

Ответ. Основные отличия от обычных установок заключаются в следующем:

должны применяться защитные меры (заземление и др.) при всех напряжениях сетей переменного и постоянного тока; заземление и зануление должны осуществляться специально предназначенными для этой цели проводниками; использование для этого металлических конструкций зданий, конструкций производственного назначения, в том числе труб электропроводок, металлических оболочек кабелей, допускается только как дополнительное мероприятие; при этом проводники, используемые для зануления — третья жила для однофазных электроприемников и четвертая для трехфазных — должны находиться в одной оболочке с фазными проводами; требуется обеспечивать бо́льшую кратность тока однофазного короткого замыкания (см. § VII-3-89 ПУЭ), чем в установках с нормальной окружающей средой.

Вопрос. Необходимо ли дополнительное видимое заземление корпусов электродвигателей во взрывоопасных установках, если выполнено их зануление четвертой жилой кабеля?

Ответ. В техническом циркуляре Госэнергонадзора и Главэлектромонтажа СССР № 9-2-89/70 от 20/II 1970 г. указано, что не требуется во взрывоопасных установках дополнительное заземление корпусов электрооборудования при наличии их зануления с помощью четвертой жилы кабеля или провода для трехфазных электроприемников и третьей жилы — для однофазных.

Г. Измерения

Вопрос. Измерения сопротивлений заземлителей на заводе показали, что все устройства имеют одинаковое сопротивление ~0,1 Ом, так как связаны между собой кабельными линиями. Нужно ли при измерениях отсоединять эти связи, чтобы получить действительное сопротивление заземлителя, например подстанции?

Ответ. Металлические связи электроустановок промпредприятий создаются не только оболочками кабелей, но также и другими коммуникациями — трубопроводами и конструкциями разного назначения, кабелями связи и т. п. Это приводит к выравниванию потенциалов на территории предприятия, снижению сопротивления заземлителей и напряжений прикосновения и шага. Отсоединять такие связи при измерении сопротивления заземлителей практически невозможно и не к чему, так как они существуют всегда, и измерения отражают действительное положение в условиях эксплуатации.

Вопрос. В инструкциях по измерению сопротивления заземлителей требуется относить вспомогательный электрод и зонд на значительные расстояния от заземлителя (1,5d—3d). При заземлителях, занимающих большую площадь, особенно в городах и на территориях промпредприятий, выполнить это требование невозможно. Как быть в таких случаях?

Ответ. Увеличение расстояний между заземлителем и измерительными электродами имеет целью исключение их взаимного влияния, в частности влияния поля вспомогательного электрода на заземлитель и зонд, для чего последний должен располагаться в зоне нулевого потенциала. Только в этом случае заземлитель может рассматриваться как полушаровой и с малым радиусом или точечный, что заложено в основу измерений. В условиях городов и промышленных площадок выполнить эти условия действительно невозможно.

В таких случаях приходится принимать меньшие расстояния электродов от заземлителя и мириться с тем, что производится измерение некоторого условного сопротивления заземлителя по отношению к зоне, имеющей некоторый (не нулевой) потенциал, и более низкого, чем действительное сопротивление. Однако к каким-либо опасным последствиям это не приводит, так как в конечном счете на условии безопасности (напряжения прикосновения и шага) влияет не абсолютная величина сопротивления, а разность потенциалов, т. е. распределение потенциалов в пределах заземлителя и по его наружным краям.

Вопрос. Требуется ли отсоединять естественные заземлители при измерениях сопротивления заземляющего устройства?

Ответ. Не требуется, так как естественные заземлители при работе установки участвуют в растекании тока замыкания на землю. В большинстве случаев в промышленных установках такое отсоединение вообще невозможно. В отдельных специальных случаях такое отсоединение применяется, например, при измерениях сопротивлений опор воздушных линий специально предусматривается возможность отсоединения грозозащитных тросов.

Вопрос. Требуется ли при измерениях сопротивления опор в сетях 380/220 В снимать соединение опоры с нулевым проводом?

Ответ. В ПУЭ не нормируется сопротивление опор в сетях с заземленной нейтралью. Металлические и железобетонные опоры в сетях 380/220 В должны иметь на каждой опоре соединение ее (при железобетонных опорах — ее арматуры) и установленного на ней оборудования с нулевым проводом. Нормируются сопротивления повторных заземлений нулевого провода. Поэтому при измерениях сопротивлений повторных заземлений нулевой провод сети следует отсоединить.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Д. Грозовые перенапряжения

Вопрос. Почему Правила требуют подвески нулевого провода воздушных линий ниже фазных. С точки зрения защиты от грозовых перенапряжений, казалось бы, лучше подвешивать нулевой провод выше фазных?

Ответ. Правила устройства электроустановок требуют подвески нулевого провода воздушных линий ниже фазных, так как это создает удобство присоединений и, кроме того, обеспечивает большую безопасность при обрыве нулевого или фазного провода, а также при ремонтах без снятия напряжения (например, смена предохранителя).

С точки зрения грозозащиты расположение нулевого провода выше фазных дало бы малые преимущества, так как расстояния между нулевым проводом и фазными в линиях 380 или 220 В малы, вследствие чего наведенные напряжения практически одинаковы на всех проводах линии.

Вопрос. При установке светильников (прожекторов) на металлических и железобетонных мачтах существует ли опасность заноса грозовых перенапряжений в питающую сеть и можно ли подводить питание по воздушной линии?

Ответ. В соответствии с Правилами устройства электроустановок (§ VI-3-35) при питании светильников, установленных на металлических или железобетонных мачтах, для защиты питающих линий от грозовых перенапряжений подход от линии до мачты должен выполняться кабелем, имеющим оболочку, не изолированную от земли и проложенным в земле на протяжении не менее 10 м. Этим опасность заноса высоких грозовых перенапряжений ликвидируется.

Это указание Правил относится и к другим случаям, когда конструкция служит молниеотводом и на ней установлены светильники, например — к дымовым трубам и т. п. При этом спуски молниеотводов должны присоединяться к заземлителю, находящемуся непосредственно у конструкции (мачты).

Список литературы

1. **Правила** устройства электроустановок. Изд. 4-е. М., «Энергия», 1966, 464 с.
2. **Правила** технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. Изд. 3-е. М., «Энергия», 1969, 352 с.
3. **Строительные** нормы и правила. Ч. III, разд. А., гл. 11. Техника безопасности в строительстве. Госстрой СССР, 1971, 192 с.
4. **Инструкция** по выполнению сетей заземления в электрических установках СН 102-65, Госстрой СССР, 1974, 64 с.
5. **Найфельд М. Р.** Заземление, защитные меры электробезопасности. М., «Энергия», 1971, 312 с.
6. **Долин П. А.** Действие электрического тока на человека и первая помощь пострадавшему. М., «Энергия», 1972, 88 с.
7. **Спеваков П. И.** Проверка на автоматическое отключение линий в сетях до 1000 В. М., «Энергия», 1971, 88 с.
8. **Равикович И. Д.** Техника безопасности в передвижных электроустановках. М., «Энергия», 1971, 106 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3
Глава первая. **Основные понятия** 5
1. Человек в электрической цепи 5
2. Как работает сеть трехфазного тока с изолированной нейтралью. Однофазные замыкания на землю . . . 8
3. Восемь защитных мер электробезопасности. Защитные средства 12
4. Растекание тока в земле 18
5. О напряжении шага и напряжении прикосновения. Выравнивание потенциалов 20
6. Четырехпроводные сети напряжением 660/380, 380/220 и 220/127 В имеют ряд особенностей. Зануление . . . 27
Глава вторая. **Новые защитные меры** 34
7. Защитное отключение — перспективная защитная мера 34
8. Разделяющие трансформаторы имеют преимущество во многих случаях 38
Глава третья. **Выполнение заземляющих устройств** . . 41
9. Что необходимо заземлять или занулять 41
10. Необходимо учитывать свойства земли 43
11. О сопротивлении заземляющих устройств и заземлителей 46
12. Заземлитель — ответственное устройство 51
13. Как выбрать проводники для заземлений и занулений 54
14. Заземление и зануление должны быть выполнены надежно 59
15. Переносное и передвижное электрооборудование требует особого внимания 69
16. Как рассчитать заземляющее устройство 78
Глава четвертая. **Испытания и измерения** 81
17. Установка сдается в эксплуатацию 81
18. Контроль изоляции 83
19. Измерение сопротивления заземляющего устройства . 90
20. Измерение удельного сопротивления земли 92
21. Измерение сопротивления цепи «фаза — нуль» . . . 93
22. Проверка исправности сетей заземления и зануления и контактов 95
Приложение. Ответы на вопросы 97
Список литературы 104

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру