г\* •

**•ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**

**М. Р.** НайФелЬд

ЧТО ТАКОЕ ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ *-и,* КАК ЕГО УСТРАИВАТЬ

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА



*Выпуск 2*

М. Р. НАЙФЕЛЬД

ЧТО ТАКОЕ
ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ
И КАК ЕГО УСТРАИВАТЬ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

3

**4**

6

10

12

14

16

18

19

22

23

27

33

З5

З9

40

ЭЭ-3-3

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Демков Е. Д., Долгов А. Н., Ежков В. В„ Смирнов А. Д., Устинов П. И.**

*В брошюре приводятся основные понятия о назначении за­щитных заземлений в электрических установках переменного то­ка напряжением до 35 кв и их устройстве. Приводятся крат­кие сведения по расчету и эксплуатации заземляющих устройств- Брошюра предназначена для квалифицированных рабочих-элек­триков, окончивших 7—10 классов средней школы.*

СОДЕРЖАНИЕ

От издательства

1. Введение
2. Защитное заземление в сети с изолированной нейтралью . .
3. Заземляющее устройство
4. Напряжение шага. Напряжение прикосновения. Выравнивание

потенциалов

1. Защитное заземление в сети с заземленной нейтралью (зану­ление)
2. В каких случаях требуется заземление
3. Сопротивления заземляющих устройств
4. Влияние характера грунта и его состояния иа сопротивление

растеканию заземлителей

1. Естественные заземлители и заземляющие контуры
2. Заземляющие проводники .
3. Прокладка заземляющих проводников, соединения и при­соединения ...
4. Пример расчета заземляющего устройства
5. Правильней эксплуатация — основа безопасности
6. Измерение сопротивления заземляющих устройств

*Литература ...............*

Автор — *Марк Романович НаОфелъд*ЧТО ТАКОЕ ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ И КАК ЕГО УСТРАИВАТЬ

Редакторы — *Е- Д. Демков, А. С. Касаткин.* Техн, редактор *Г. И. Матвеев*

Сдано в набор 11/XII 1958 г. Подписано к печати 28/11 1959 г.

Бумага 84X10S1/3J Уч.-изд. л 2.4

Т-02842 Тираж 35.000 экз. Пена I г>. 20 к. Зак. 1549

Типография Госэнергонздата. Москва, Китайский пр., д. *7*

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Необходимость выпуска литературы для многочислен­ного отряда электромонтеров, ведущих ответственную ра­боту по электрификации народного хозяйства нашей Ро­дины, в последние годы чувствуется очень остро.

Госэнергоиздат приступает к выпуску «Библиотеки электромонтера» и выражает уверенность, что массовое распространение электротехнических знаний среди рабо­чих, бригадиров и мастеров будет способствовать выпол­нению исторических задач по строительству коммунизма, принятых XXI съездом КПСС.

В «Библиотеку электромонтера» войдут брошюры как для квалифицированных монтеров, имеющих большой практический опыт, так и для монтеров, имеющих необхо­димую теоретическую подготовку, но не имеющих доста­точного опыта работы.

Цель этой библиотеки—объяснить, как работают элек­трические устройства и аппараты, показать, как выпол­няются простейшие электротехнические расчеты, почему в данных условиях приняты те или иные решения в части конструкций, схем и методов монтажа и эксплуатации, а также отразить передовой опыт изобретателей и рациона­лизаторов по монтажу, наладке и эксплуатации электро­технических установок.

Издательство просит читателей присылать в редакцию свои замечания по вышедшим брошюрам и предложения о желательной тематике «Библиотеки электромонтера».

Предложения об издании брошюр вместе с кратким их содержанием следует направлять по адресу. Москва Ж-П4, Шлюзовая набережная, д. 10, Госэнергоиздат, «Библиотека электромонтера».

1. ВВЕДЕНИЕ

Потребление электроэнергии находит все большее раз­витие в промышленности, на транспорте, в коммунальном хозяйстве, в быту и других областях.

Производство электроэнергии в Советском Союзе в 1958 г. составило 233 млрд, *кет ■ ч.* Для сравнения на­помним, что в дореволюционной России в 1913 г. произ­водство электроэнергии составляло всего 1,94 млрд, *кет • ч.* Таким образом, производство электроэнергии с 1913 по 1958 г. возросло в 120 раз. В 1956 г. расход электроэнергии на одного рабочего составлял 8498 *квт-ч.* Считается, что мировое потребление электроэнергии возрастает более чем в 2 раза через каждые 10 лет. У нас в Советском Союзе темпы роста значительно выше.

При таком широком применении электроэнергии рсобое значение имеет обеспечение безопасности при эксплуатации электрических 'установок и пользовании электрическими приемниками — двигателями, осветительными приборами, всякого рода аппаратами и другими устройствами.

Несоблюдение правил устройства электрических уста­новок, правил их эксплуатации, неосторожное обращение с электроприемниками, прикосновение к токоведущим ча­стям, дефекты конструкции электроприемников — все это может привести к тяжелым поражениям от электрического тока (ожоги, ослепление от дуги и т. п.) и даже к смертель­ным случаям.

Поражения и травмы от электрического тока могут произойти под воздействием как высоких, так и низких на­пряжений. Большинство несчастных случаев происходит при напряжениях 380 и 220 *в* (вольт), как наиболее рас­пространенных и с которыми часто имеют дело люди, не имеющие специальной подготовки.

Таким образом, осторожное обращение с электрически­ми устройствами требуется всегда. При работе в особо не- 4

благоприятных условиях, например вблизи металлических масс, в целях обеспечения безопасности для переносных электроприемников применяются пониженные напряжения 36 и 12 в.

Сопротивление человеческого тела не является величи­ной определенной и может иметь широкие пределы коле­баний от примерно 1 000 (и ниже) до нескольких десятков тысяч ом. Оно зависит от многих условий, в частности от состояния и сопротивления кожи в месте прикосновения (сухая, влажная, наличие повреждений верхнего рогового слоя), размера поверхности прикосновения и характера его (плотный охват или случайное кратковременное прикосно­вение), величины приложенного напряжения и других фак­торов. Эти причины определяют величину тока через тело человека.

Один и тот же ток воздействует на разных людей в раз­ной степени, а также различно на одного и того же чело­века в зависимости от его состояния в момент поражения. Во всяком случае токи порядка 30—40 *ма* (миллиампер) уже могут быть опасными для жизни (имели место случаи смертельных поражений и при более низких значениях то­ка) и вызывать паралич дыхания и нарушения деятельно­сти сердца.

В ряде случаев поражения электрическим током может наступить так называемая «мнимая смерть» — состояние, когда в течение некоторого времени после поражения путем применения искусственного дыхания может быть восста­новлена деятельность сердца и легких.

Одна из причин поражения электрическим током — по­вреждение изоляции электроприемников. При таком повреж­дении прикосновение к металлическому корпусу электро­приемника равносильно прикосновению к голым токоведу­щим частям.

Чтобы защитить людей от поражения электрическим то­ком 'при повреждениях изоляции, корпусы электрических приемников зазе мл яются.

Рассмотрим, в чем состоит смысл такого заземления, которое называется защитным, и как его нужно устраи­вать, чтобы обеспечить необходимую безопасность. При этом будем рассматривать отдельно сети с изолированной и заземленной нейтралью, так как условия устройства за­землений в них различны.

У нас в Советском Союзе сети 3, 6, 10 и 35 *кв* (кило­вольт, т. е. тысяч вольт) работают с изолированной ней­тралью трансформаторов и генераторов. Сети 380 и 220 *в* могут работать как с изолированной, так и с заземленной нейтралью, однако наиболее распространенные четырехпро­водные сети 380/220 и 220/127 *в* в соответствии с требова­ниями «Правил» 1 должны иметь заземленную нейтраль.

1. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ В СЕТИ
С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

На рис. 1 изображена схема сети трехфазного тока, пи­таемой от трансформатора с изолированной нейтралью. Для простоты на рисунке показана только одна вторичная обмотка трансформатора. Она изображена соединенной в звезду, однако все сказанное ниже относится также к слу­чаю соединения обмотки в треугольник.

целом изоляция токоведущих частей сети от земли, все же проводники сети имеют связь с землей. Связь эта— двоякого рода.

Как бы хороша ни была в

Рис. 1. Схема сети трехфазного тока с изолированной нейтралью.

1. Изоляция токоведущих частей имеет определен­ное сопротивление по отно­шению к земле, его обычно выражают в мегомах *(Мом* или 1 000 000 *ом). Это* озна­чает, что через изоляцию мегомметром сопротивление изоляции этого провода равно

проводников и землю протекает 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

220

0,5 *Мом.* Тогда ток на землю этой фазы равен 0 орцроо— = 0,00044 *а (а —* ампер) или 0,44 *ма.* Этот ток называется током утечки.

Условно для наглядности на схеме сопротивления изо­ляции трех фаз *гА, гв, гс* изображаются в виде сопро­тивлений, присоединенных каждое к одной точке провода. На самом деле токи утечки в исправной сети распределяют-

’ Здесь и далее имеются в виду „Правила устройства электро­установок", раздел „Заземления", 1957 г. ся равномерно по всей длине проводов; в каждом участке сети они замыкаются через землю.

2. Связь второго рода образуется емкостью между проводниками сети и землей. Как это пони­мать?

Каждый проводник сети и землю можно представить себе как две обкладки протяженного конденсатора. В воз­душных линиях проводник и земля — обкладки конденса­тора, а воздух между ними — диэлектрик. В кабельных ли­ниях обкладками конденсатора являются жила кабеля и металлическая оболочка, соединенная с землей, а диэлек­триком — изоляция между жилами. При переменном на-



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

пряжении изменение зарядов конденсаторов вызывает воз­никновение соответствующих переменных токов. Эти так называемые емкостные токи в исправной сети также равно­мерно распределены по длине проводов и в каждом отдель­ном участке замыкаются через землю. На рис. 1 сопротив­ления емкостей трех фаз на землю *хА, хв* и *хс* также условно показаны присоединенными каждое к одной точке сети.

Посмотрим, что же произойдет в изображенной на рис. 1 сети, если в одной из фаз (например, Л) произойдет замыкание на землю, т. е. провод этой фазы будет соединен с землей через относительно малое сопротивление.

Такой случай изображен на рис. 2. Поскольку сопро­тивление между проводом фазы *А* и землей мало, то токи утечки и емкостные токи на землю этой фазы заменяются током замыкания на землю. Теперь под воздействием ли­нейного напряжения сети через место замыкания и землю будут протекать токи утечки и емкостные токи двух исправных фаз, как показано стрелками на рисунке.

Замыкание, показанное на рис. 2, называется одно\* фазным замыканием на землю, а возникаю­щий при этом аварийный ток — током однофазного замыкания.

Представим себе теперь, что однофазное замыкание вследствие повреждения изоляции произошло не непосред­ственно на землю, а в каком-нибудь электроприемнике — электродвигателе, аппарате, либо на конструкцию, по кото­рой проложены электрические провода, на ограждение элек­тропроводок и т. д. Такое замыкание называется замы- к а н и е м на корпус.

Рис. 3. Замыкание на корпус в сети с изолированной ней­тралью при отсутствии за­земления.

ния не показаны). Ток в =

Если при этом электропри­емник или конструкция вы­полнены из металла и не со­единены надежно с землей (рис. 3), то корпус приобрета­ет 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 других фаз образуется замк­нутая цепь (для простоты на рис. 3 емкостные сопротивле- ift цепи зависит от ее сопротив­ления и может нанести человеку тяжелое поражение или оказаться для него смертельным.

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

Чтобы предотвратить поражения людей при замыка­ниях на корпус, все корпуса электроприемников, металли­ческие конструкции и т. п., которые могут оказаться из-за повреждения изоляции под опасным напряжением, должны быть заземлены (рис. 4).

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

Назначение защитного заземления за­ключается в том, чтобы создать между корпусом защищаемого устройства и зем-леи электрическое соединение достаточ­но малого сопротивления, для того чтобы в случае замыкания на корпус прикосно­вение к последнему человека (параллель­ное присоединение) не могло вызвать че­рез его тело ток такой величины, который угрожал бы его жизни или здоровью.

Отсюда следует, что для обеспечения безопасности при­годно не всякое заземление, а только имеющее достаточ­но малое сопротивление.

Рис. 4. Заземление электро­приемника.

Рис. 5. Прикосновение к токове­дущему проводнику при наличии в сети „земли\*.

Если заземление выпол­нено в соответствии с требо­

при прикосновении к заземленному корпусу не возникает.

ваниями «Правил», т. е. с достаточно малым сопротивлени­ем (об этом см. ниже в § 7), то непосредственной опасности

В сетях с изолированной нейтралью отключение повреж­денного участка сети при однофазных замыканиях на зем­лю или корпус (т. е. при наличии «земли» в сети) обычно не применяется, и установка при наличии такого замыкания (о чем сигнализируют приборы контроля изоляции) может продолжать работать. Однако сеть с наличием в ней одно­фазного замыкания все же должна рассматриваться как находящаяся в аварийном состоянии, так как общие усло­вия безопасности при таком состоянии сети резко ухуд­шаются. Так, наличие «земли» увеличивает опасность пора­Образовавшееся двойное замыкание на землю представляет собой для человека более серьезную опасность по сравне­нию с однофазным замыканием.

жения электрическим током, даже при исправном заземле­нии. Это видно, например, из рис. 5, где показано проте­кание тока поражения при случайном прикосновении к то­коведущему проводу и пеустраненной «земле» .в сети.

Помимо того, напряжения неповрежденных фаз по отно­шению к земле возрастают до линейных и способствуют возникновению второго замыкания на землю в другой фазе.

Поэтому однофазное замыкание на землю и на корпус должно устраняться в кратчайший срок.

В некоторых случаях для обеспечения безопасности при­ходится применять, кроме заземления, еще дополнительные меры (быстродействующее отключение, выравнивание по­тенциалов). Так, при особо неблагоприятных условиях (на­пример, в сырых местах — шахтах, на торфоразработках и-т. п.), а также на линиях, питающих особо ценные агре­гаты, применяется специальная быстродействующая защита,- отключающая аварийный участок при замыканиях на кор­пус (и непосредственно на землю).

Мы рассмотрели выше назначение защитных заземле­ний. В электрических установках имеют место и другие за­земления, которые необходимы по условиям эксплуатации, например заземления разрядников, заземления нейтралей трансформаторов и др. В отличие от защитных они назы­ваются рабочими заземлениями.

1. ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

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

Заземлители представляют собой металлические провод­ники (трубы, уголки, полосы), располагаемые в земле в определенных количестве и порядке.

Допустим, что в земле в точке *О* (рис. 6) находится за­землитель *3* в виде уголка и через этот заземлитель проте­кает ток однофазного замыкания на землю. Зададимся целью определить напряжения по отношению к земле [[1]](#footnote-2) на разных расстояниях от заземлителя. Если замерить напря­жения между точками земли, находящимися на разных рас­стояниях в любом направлении от заземлителя, и точками нулевого1 потенциала, затем построить график зависимости этих напряжений от расстояния до заземлителя, то полу­чится кривая, изображенная на рис. 6.

Из этой кривой видно, что напряжения по отношению

к земле всех точек, расположенных от заземлителя на рас­стояниях, больших 20 *м* (точка *М),* близки к нулю.

Причина этого явления заключается в том, что сечение массива земли, через которое протекает ток замыкания на землю, по мере удаления от заземлителя быстро увеличи­вается; при этом происходит растекание тока в земле. На расстоянии более 20 *м* от заземлителя сечение массива земли настолько возрастает, что плотность тока становится весьма малой; напряжения между точками земли и точка-



Рис. 6. Напряжение по отношению к земле на различных расстоиниях от заземлителя и напряже­ние шага.

ми, еще более удаленными, не обнаруживается сколько-ни­будь ощутимо. Сопротивление, которое оказывает току зем­ля на участке растекания, называется сопротивлением растеканию заземлителя. Его часто сокращенно назы­вают сопротивлением заземлителя (не следует смешивать с сопротивлением заземлителя как проводника).

Заземляющие проводники соединяют заземляемые ча­сти электроустановок с заземлителями. В целом заземляю­щие проводники и заземлители образуют заземляющее устройство.

Сопротивление заземляющего устройства состоит, таким образом, из:

1) сопротивления растеканию заземлителя, в которое входит также сопротивление контакта между заземлителем и землей;

сопротивление контакта составляет незначительную

часть сопротивления растеканию заземлителя; даже нали­чие на стальном заземлителе слоя окиси (ржавчины) не оказывает существенного влияния на сопротивление расте­канию заземлителя;

2) сопротивления заземляющей сети, включающего в себя заземляющие проводники; в большинстве случаев оно составляет незначительную долю общего сопротивле­ния заземляющего устройства.

Если обозначить сопротивление заземляющего устрой­ства через 7?э *(ом),* а ток замыкания на корпус через *13 (а),* то напряжение корпуса по отношению к земле бу­дет равно произведению *I3R3—Ua(e).*

Если, например, ток замыкания на землю в сети равен **15** *а,* а сопротивление заземляющего устройства 4 *ом,* то напряжение по отношению к земле *V* равно 15-4 = 60 *в.*

1. НАПРЯЖЕНИЕ ШАГА. НАПРЯЖЕНИЕ
ПРИКОСНОВЕНИЯ. ВЫРАВНИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛОВ

Кривая на рис. 6 показывает, что напряжения по отно­шению к земле вблизи заземлителя при протекании через него тока замыкания на землю определяются точками *А, Б, В. Г* ит. д., а падения напряжения между этими точками — отрезками *АД, БЕ, ВЖ* и т. д. Таким образом, если разбить линию ОЛ4 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 будут больше *(АД > БЕ* и *БЕ>ВЖ).* Через тело человека может в таких случаях про­текать ток, величина которого может оказаться опасной.

Напряжение, воздействию которого в подобном случае может подвергаться человек, называется напряжением шага *(иш).* На рис. 6 справа показано в увеличенном масштабе напряжение шага, когда ноги человека захва­тывают участок, соответствующий точкам *В и Г* кривой.

Напряжение шага может возникнуть также при паде­нии находящегося под напряжением провода на землю, вблизи него. Опасны такие случаи и для крупных живот­ных—лошадей, коров, тем более (помимо других причин), что шаг их значительно больше шага человека. Поэтому при падении провода на землю необходимо отключать ава­рийную линию (если она не отключилась автоматически 12

защитой), а до того не допускать приближения людей и животных к месту падения провода.

Прикасаясь к корпусу электроприемника с поврежден­ной изоляцией (рис. 4), человек может оказаться либо под полным напряжением корпуса по отношению к земле, т. е. напряжением либо под частью этого напряжения.

То напряжение, под которым оказывается человек в цепи замыкания, называется на­пряжением прикосновения *U.*

Напряжение прикосновения, близкое или равное пол­ному напряжению корпуса по отношению к земле, может иметь место, например, если человек, прикасаясь к корпу­су с поврежденной изоляцией, стоит непосредственно на земле в сырой или подбитой гвоздями обуви или, еще ху­же, вовсе без обуви.

Более благоприятные условия создаются, например, если электрооборудование находится внутри заводского здания, содержащего большое количество станков, машин, трубопроводов, металлоконструкций и т. п., 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 одинаковое напряжение по отношению к земле, равное произведению *13R3.* Поэтому все здание и, в частности, пол приобретают примерно равное напряже­ние по отношению к земле. В результате разность потен­циалов между корпусом электроприемника и полом суще­ственно уменьшается, происходит выравнивание по­тенциалов по всей площади помещения. Благодаря этому тело человека, находящееся в цепи замыкания между корпусом электроприемника и полом (рис. 4), оказывается под напряжением прикосновения *Unp,* составляющим толь­ко часть полного напряжения по отношению к земле *(J3R3)-* Это значительно улучшает условия безопасности.

Степень выравнивания потенциалов зависит от насы­щенности здания металлическими конструкциями и обо­рудованием, от конструкции здания; в железобетонных зданиях, имеющих также перекрытия из железобетона, про­исходит, например, выравнивание потенциалов, при кото­ром напряжение прикосновения снижается в 2 и более раз. С этой точки зрения металлический пол, будучи связан с электрооборудованием и заземляющим устройством, дал бы наилучшее выравнивание потенциалов (но при этом не

надо забывать, что хорошо проводящий и связанный с зем­лей пол создает, с другой стороны, большую опасность при случайном прикосновении к токоведущим частям, находя­щимся под напряжением, так как при этом в цепи замыка­ния отсутствует благоприятный фактор — сопротивление пола).

Из сказанного следует, что фактор выравнивания по­тенциалов имеет первостепенное значение в обеспечении безопасности. В некоторых случаях добиться хороших усло­вий безопасности только одним заземлением оборудования без выравнивания потенциалов было бы невозможно. Это относится, например, к установкам 110 *кв,* в которых токи однофазного замыкания достигают нескольких тысяч ампер.

1. **ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ В СЕТИ**

С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ (ЗАНУЛЕНИЕ)

Как было указано ранее, в четырехпроводных сетях 380/220 и 220/127 *в* в соответствии с требованиями «Пра­вил» применяется заземление нейтралей (нулевых точек) трансформаторов или генераторов. Заземление в таких се­тях имеет ряд особенностей.

Рассмотрим вначале трехпроводную сеть 380 или 220 *в* с заземленной нейтралью. Такая сеть изображена на рис. 7. Если человек прикоснется к проводнику этой сети, то под воздействием фазного напряжения (77^) образуется цепь поражения, которая замыкается через тело человека, обувь, пол, землю, заземление нейтрали (см. стрелки). Та же цепь образуется, если человек прикоснется к корпусу с повреж­денной изоляцией. Однако выполнить заземление в такой сети таким же образом, как и при изолированной нейтрали, нельзя.

Чтобы это понять, допустим, что такое заземление все же выполнено (рис. 8) и на установке произошло замыка­ние на корпус двигателя. Ток замыкания будет протекать через два заземлителя—электроприемника *R3* и нейтрали *R„* (см. стрелки).

По известному закону электротехники фазное напряже­ние сети *U ф* распределится между заземлителями *R3* и *Ra* пропорционально их величинам, т. е. чем больше сопро­тивление заземлителя, тем больше будет падение напряже­ния в нем. Если, например, сопротивление /?0 = 1 *ом, R3 = 4 ом* и [7^ = 223 *в,* то падение напряжения распре­делится так:

на сопротивлении *R3* будем иметь

220-4

1 + 4

— 176 *в;*

220 1

на сопротивлении *Rc* будем иметь -га~7 = 44 *в.*

Таким образом, между корпусом электродвигателя и землей возникает достаточно опасное напряжение. Человек,



Рис. 7. Прикосновзние к про­воднику в сети с заземленной нейтралью.

Рис. 8. Заземление электропри­емника в сети с заземленной нейтралью.



напряжение может возникнуть между землей и корпусами оборудования, установленного возле трансформатора и

ралыо.

провод сети или специальный зануляющий про­водник (рис. 9). Благодаря этому всякое замыканйе на

прикоснувшийся к корпусу, может быть поражен электри­ческим током. Если будет иметь место обратное соотноше­ние сопротивлений, т. е. *Ro* будет больше, чем *R3,* опасное имеющими общее зазем­ление с его нейтралью.

По указанной причине в установках с заземлен­ной нейтралью напряже­нием 380 и 220 *в* приме­няется система заземле­ния иного вида: все ме­таллические корпуса и конструкции связываются электрически с заземлен­ной нейтралью трансфор­матора через нулевой корпус превращается в короткое замыкание, и аварийный участок отключается предохранителем или автоматом. Та­кая система заземления называется занулением.

Таким образом, обеспечение безопасности при з а ну ле­ни и достигается путем отключения у ч а -

стка сети, в котором произошло замыка­ние на корпус.

В дальнейшем будем применять общий термин «зазем­ление», а термин «зануление» будем применять, если речь идет об особенностях этой системы.

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

Если отключения не произойдет, то ток замыкания бу­дет длительно протекать по цепи и по отношению к земле возникнет напряжение не только на поврежденном корпусе, но и на всех зануленных корпусах (так как они электриче­ски связаны). Это напряжение равно по величине произве­дению тока замыкания на сопротивление нулевого провода сети или зануляющего проводника *(/3Rh)* и может ока­заться значительным по величине и, следовательно, опас­ным особенно в местах где отсутствует выравнивание по­тенциалов. Чтобы предупредить подобную опасность, не­обходимо точно выполнять требования «Правил» к устрой­ству занулений (подробнее об этом см. § 11).

1. В КАКИХ СЛУЧАЯХ ТРЕБУЕТСЯ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

В соответствии с требованиями «Правил» заземлять следует металлические нетоковедущие части электроуста­новок и оборудования во всех производственных помеще­ниях и наружных установках, как-то:

а) корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т. п.;

б) приводы электрических аппаратов;

в) вторичные обмотки измерительных трансформаторов и трансформаторов местного освещения 36 *в* и корпуса последних;

г) каркасы распределительных щитов, щитов управле­ния, щитков и шкафов;

д) металлические и железобетонные конструкции под­станций и открытых распределительных устройств, метал лические корпуса кабельных муфт, металлические оболочки кабелей и проводов, стальные трубы электропроводки, ме- 16

таллические и железобетонные опоры воздушных линий

и т. п.

Не требуется специально заземлять:

а) арматуру подвесных и штыри опорных изоляторов, кронштейны и осветительную арматуру при установке их па деревянных опорах и деревянных конструкциях открытых подстанций (дерево рассматривается как изоляция); однако заземление выполняется, если это требуется по условиям защиты от атмосферных перенапряжений (грозозащиты);

б) оборудование, установленное на заземленных метал­лических конструкциях при наличии на опорных поверхно­стях надежного электрического контакта (зачистка);

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

г) кабельные конструкции, по которым проложены ка­бели любых напряжений с металлическими оболочками, за­земленными с обоих концов линии;

д) рельсовые пути, если они выходят за территорию электростанций, подстанций, распределительных устройств;

е) съемные или открывающиеся части на металлических' заземленных каркасах и в камерах распределительных^ устройств, на ограждениях, в шкафах и т. п.;

ж) металлические конструкции в помещениях аккуму­ляторных батарей при напряжении до 220 *в* включительно.

Заземление металлических частей электроустановок вообще не требуется:

а) при номинальном напряжении 380 в и ниже перемен­ного тока и 440 *в* и ниже постоянного тока в сухих произ­водственных помещениях без повышенной и особой опас­ности 1.

•Помещения с повышенной опасностью в соответ­ствии с „Правилами" характеризуются наличием одного из следую­щих условий:

а) сырости или проводящей пыли;

б) токопроводящих полов (металлических, земляных, железобе­тонных, кирпичных и т. п.);

в) высокой температуры;

г) возможности одновременного прикосновения человека к имею­щим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологи­ческим аппаратам, механизмам и т. п„ с одной стороны, и к метал­лическим корпусам электрооборудования — с другой.

Помещения особо опасные характеризуются наличием одного из следующих условий:

а) особой сырости;

б) химически активной среды;

в) одновременного наличия двух или более условий повышенной опасности.

2—1549 17

Род установки

*-j*—, но не более 10 *‘ р*

250

*—j—,* но не более 10

*1 р*

**4**

10

**4**

10

10

15

20

30

50

б) при номинальном напряжении сети ниже 127 *в* пере­менного тока и 110 в постоянного тока во всех помещениях (за исключением взрывоопасных; в последних заземление следует выполнять при любых напряжениях).

1. СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Из сказанного ранее (см. стр. 9) следует, что для обес­печения безопасности заземляющее устройство должно иметь сопротивление, по возможности малое и во всяком случае не выше определенной величины.

Таблица 1

**Максимальные сопротивления заземляющих устройств**

Сопротивление зазем­ляющего устройства. *ом*

1. Электроустановки напряжением 6 000— 35 000 *е:*

а) при одновременном использовании зазем­ляющего устройства в установках напря­жением до 1000 *в*

*б)* только для установок напряжением выше 1 000 *в*

*Iр* — расчетный ток замыкания на землю (значение его задается энергосисте­мой).

1. Электроустановки напряжением до 1 000 *в*

с заземленной нейтралью

То же при мощности генераторов и трансфор­маторов до 100 *ква*

1. Электроустановки напряжением до 1 000 *в*

с изолированной нейтралью

То же при мощности генераторов и трансфор­маторов до 100 *ква .............*

1. Железобетонные и металлические опоры воздушных линий напряжением выше 1 000 *в* при удельном сопротивлении грунта':

до 104 *ом-см .............*

*более* 104 до 5-10\* *ом-см*

„ 5-104 до 10-Ю4 *ом-см*

„ 10-10\* *ом-см*

1. Железобетонные и металлические опоры

воздушных линий напряжением до 1 000 *в* при изолированной нейтрали

1. Железобетонные и металлические опоры воз­душных линий напряжением до 1 000 *в* при заземленной нейтрали должны быть соеди­нены с заземленным нулевым проводом (за­нулены)

1 Об удельном сопротивленип грунта см. § 8.

Максимальные допустимые сопротивления заземляю­щих устройств, предписанные «Правилами», приведены в табл. 1.

1. **ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА ГРУНТА И ЕГО СОСТОЯНИЯ
НА СОПРОТИВЛЕНИЕ РАСТЕКАНИЮ
ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ**

В табл. 1 величина сопротивления заземляющего устройства воздушных линий дана в зависимости от удельного сопротивления грунта (удельное сопротивление принято обозначать греческой буквой р — «ро»). Эта величина определяет свойства грунта с точки зрения его электрической проводимости и чем она мень­ше, тем меньше сопротивление растеканию, а следователь­но, благоприятнее условия для устройства заземления.

Удельным сопротивлением грунта назы­вают сопротивление между противополож­ными плоскостями кубика грунта *с* реб­рами размером! *см;* оно измеряется в ом-сантимет- рах *(ом-см).*

Чтобы представить себе, что представляет собой это со­противление, напомним, что кубик меди с ребрами 1 *см* имеет сопротивление 0,0175- 10-4 *ом* при 20° С; таким обра­зом, например, при значении р = 1 • 104 *ом • см* грунт имеет сопротивление, в 5,7 млрд, раз большее, чем сопротивление меди.

В табл. 2 приведены приближенные значения удельных сопротивлений разных грунтов, а также речной и морской

Таблица 2

Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов и воды р, *ом см*

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование грунта | Пределы величины Х10\* |
| Песок  | 4—7 и более |
| Супесок  | 1,5—4 и более |
| Суглинок  | 0,4—1,5 и более |
| Глина  | 0,08—0,7 *и* более (среднее значение 0,4) |
| Садовая земля  | 0,4 |
| Чернозем  | 0,1—5,3 и более (среднее значение 2) |
| Торр  | 0,2 |
| Речная вода  | 0,5 |
| Морская вода . • . . . | 0,002-0,01 |

2\*

19

воды. Точные значения удельных сопротивлений грунта должны определяться измерениями.

Зная величину удельного сопротивления грунта, можно определить сопротивление растеканию различных заземли­телей. Приближенные их значения приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Приближенные значения сопротивления растеканию
единичных заземлителей**

Вид заземлителя

Сопротивление, *ом*

1. Трубчатый заземлитель диаметром 2" при длине 250 *см*
2. Угловая сталь 50X50 *мм* длиной 250 *см*
3. Угловая сталь 60x60 *мм* длиной 250 *см*
4. Полосовая сталь шириной 40 *мм* пли круг­лая диаметром 20 *мм*

Прямоугольная пластина (при небольшом от­ношении размеров сторон), заложенная вер­тикально

0,09308?

0,00318?

0,00298?

См. рис. 10

р
0,25

*УаЬ*где *а* и *b—*раз-
меры сторон
пластины, *см*



Рис. 10. Сопротивление растеканию поло­совой стали шириной 40 *мм* пли круглой диаметром 20 *мм.*

Приведенные в табл. 3 данные относятся к значениям при влажности 10—20% к весу грунта. Однако грунт мо­жет в летнее время просыхать, а в зимнее — промерзать. И в том и в другом случаях сопротивление растеканию за­землителей возрастает, часто довольно значительно.

**Признаки климатических зон и приближенные значения
повышающих коэффициентов к сопротивлениям заземляющих
устройств**

|  |  |
| --- | --- |
| Данные» характери- | Климатические зоны СССР |
| зующпе климатиче­ские зоны и тип при­меняемых заземли­телей | I | II | III | IV |
| Климатические признаки зон: |  |  |  |  |
| 1. Средняя много­летняя низшая температура (январь) .... | От —20 до —15° С | От —14 до — 10°С | От —10 до 0° С | От 0 до -|-5° С |
| 2. Средняя мно­голетняя выс­шая темпера­тура (июль) . . | От 4-16 до 4-18° С | Ог 4-18 до 4-22° С | От 4-22 до 4-24° С | От 4-24 до 4-26° С |
| 3. Среднегодовое количество осадков, *см . .* | ■х,40 | ■х,50 | <v50 | 30—50 |
| *4.* Продолжитель­ность замерза­ния вод, дней | 190—170 | ~150 | -х, 100 | 0 |
| Значения коэффи­циента: |  |  |  |  |
| при применении стержневых заземлителей (уголки, трубы) длиной 2—3 *м* и глубине за­ложения их вершины 0,5—0,8 *м . . .* | 1,8—2,0 | 1,5—1,8 | 1,4—1,6 | 1,2—1,4 |
| при применении протяженных заземлителей (полоса, круг­лая сталь) при глубине зало­жения 0,8 *м . .* | 4,5—7,0 | 3,5—4,5 | 2,0—2,5 | 1,5—2,0 |

Чтобы достигнуть более влажных и непромерзающнх слоев грунта, уголки и трубы забиваются в землю так, что­бы их верх находился на расстоянии 0,7—0,8 *м* от уровня земли. Несмотря на это, часть длины труб, а полосовые за­землители — полностью (они прокладываются на глубине 0,7—0,8 *м)* попадают в зону возможного промерзания и вы­сыхания грунта. Поэтому, чтобы получить необходимое со­противление заземляющих устройств в любое время года, сопротивление растеканию заземлителей при расчетах сле­дует принимать более высоким, чем это указано в табл. 3. Для этого сопротивление растеканию заземлителей по табл. 3 следует умножать на повышающие коэффициенты, различные для разных климатических зон.

Приближенные значения этих коэффициентов для кли­матических зон СССР и различных заземлителей приведе­ны в табл. 4

1. ЕСТЕСТВЕННЫЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛИ
И ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ КОНТУРЫ

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 сопротивление порядка долей ома и не требуют специальных затрат на их устройство. Поэтому они должны быть использова­ны в первую очередь.

*Подстанция*

*Цех*

Рис. И. Заземляющий контур
подстанции.

В тех случаях, когда такие естественные зазем­лители отсутствуют, для

заземляющих устройств приходится устраивать искус­ственные заземлители (рис. 11) в виде зазем­ляющих контуров, представляющих собой ряды забитых в землю уголков или труб, соединенных стальны­ми полосами, на глубине, указанной в § 8.

Общее сопротивление растеканию заземляющего конту­ра определяется сопротивлением растеканию отдельных заземлителей по известному закону электротехники (как 22

сумма проводимостей параллельно включенных проводни­ков). Однако при контурных заземлителях приходится счи­таться с явлением так называемого взаимоэкр аниро- вания заземлителей. Это явление приводит к уве­личению сопротивления растеканию заземлителей, разме­щенных в заземляющем контуре, по сравнению с отдель­ными заземлителями (уголок, полоса и т. п.) примерно в 1,5 и даже до 5—6 раз (для особо сложных контуров). Чем ближе находятся заземлители один от другого, тем в боль­шей степени взаимоэкранирование влияет на общее сопро­тивление растеканию. Поэтому отдельные заземлители еле-, дует располагать с расстояниями между ними не менее 2,5 и до 5 *м.*

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

Все части заземляющего контура при протекании через него тока замыкания на землю получают примерно одина­ковый потенциал. Поэтому заземляющие контуры, как это следует из изложенного в § 4, способствуют выравниванию потенциалов на занимаемой ими площади. В ряде случаев (например, в установках напряжением ПО *кв* и выше, лабо­раторных высоковольтных установках и др.) они специаль­но для этой цели устраиваются в виде достаточно частой сетки из полос (помимо труб или уголков).

1. ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ ПРОВОДНИКИ

Выполнение сетей заземления облегчается при исполь­зовании в качестве заземляющих проводников стальных конструкций различного назначения. Будем называть их условно естественными проводниками.

В качестве естественных проводников могут служить: а) металлические конструкции зданий (фермы, колонны и т. п.); б) металлические конструкции производственного назначения (подкрановые пути, каркасы распределитель­ных устройств, галереи, площадки, шахты лифтов, подъем­ников и т. п.); в) металлические трубопроводы всех назна­чений — водопровод, канализация, теплофикация и т. п. (исключая трубопроводы для горючих и взрывоопасных смесей); г) стальные трубы электропроводок; д) свинцовые и алюминиевые оболочки (но не броня) кабелей.

Они могут служить единственными заземляющими про-

водниками, если удовлетворяют требованиям «Правил» в отношении сечения или проводимости (сопротивления).

В качестве заземляющих проводников в первую очередь применяется сталь. Для осветительных установок и в дру­гих случаях, когда применение стали конструктивно не­удобно или проводимость недостаточна, используются медь или алюминий.

Заземляющие проводники разделяются на основные (магистральные) м ответвления от них к отдельным электро­приемникам.

Заземляющие проводники должны иметь минимальные размеры, приведенные в табл. 5 и 6.

Таблица 5

**Минимальные размеры стальных заземляющих
проводников (и заземлителей) в установках до 1 000** *в* **и
выше 1 000** *в*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | В зданиях | В наружных установках | В земле |
| Круглые проводники Прямоугольные про­водникиУгловая стальСтальные газопро­водные трубыСтальные тонкостен­ные трубы | Диаметр 5 *нм* Сечение 24 лыР, толщина 3 *мм* Толщина полок 2 *мм*Толщина стенок1. *мм*

Толщина стенок1. *мм*
 | Диаметр 6 *мм* Сечение 48 *мм2,* толщина 4 *мм* Толщина полок 2,5 *мм* | 4 *мм*Толщина стенок 2,5 *мм* | 3,5 *мм*Не допускаются |

Таблица 6

Минимальные сечения медных и алюминиевых заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1000 в

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | Медь, *мма* | Алюмниий, *мм\** |
| Голые проводники при открытой прокладке . . | 4 | 6 |
| Изолированные провода Заземляющие жилы кабелей или многожиль- | 1,5 | 2,5 |
| ных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами  | 1 | 1,5 |

В электроустановках напряжением до 1 000 *в* с изоли­рованной нейтралью допустимая нагрузка на магистраль­ные заземляющие проводники в соответствии с требованием «Правил» должна быть не менее 50% допустимой длитель- 24 ной нагрузки на фазный провод наиболее мощной линии данного участка сети, а допустимая нагрузка на ответвле­ния заземляющих проводников к отдельным электроприем­никам— не менее \*/з допустимой нагрузки фазных прово дов, питающих эти электроприемники.

Для заземляющих проводников при напряжении как до так и выше 1 000 в не требуются сечения больше 100 жж2— для стали, 35 *мм2 —* для алюминия и 25 *мм2—* для меди.

Таким образом, выбор проводников для заземления оборудования достаточно прост, поскольку допустимая на­грузка на различные проводники может быть получена из таблиц «Правил» или справочников.

Пример. Наиболее мощная линия, отходящая в цех от щита на­пряжением 380 *в, —* кабель с бумажной изоляцией сечением 3X50 *мм2,* проложенный в канале. Необходимо выбрать сечение заземляющей магистрали из стали.

Наибольшая допустимая нагрузка на фазу кабеля 155 *а.* Стальная магистраль должна иметь допустимую нагрузку не менее 77,5 *а* (50% от 155). По таблицам нагрузок для стальных шин выбираем сечение полосы 25X3 *мм* (допустимая нагрузка 80 *а).*

Сложнее обстоит дело с выбором проводников зануле­ния, т. е. для установок 380/220 и 220/127 *в* с заземленной нейтралью. Выше, в § 5, мы установили, что отключение аварийного участка происходит, если имеет место опреде­ленная величина тока короткого замыкания; следовательно, необходимо иметь такое по возможности малое сопротив­ление цепи короткого замыкания, при котором в случае ава­рии ток достиг бы значения, необходимого для срабатыва­ния защиты. Величина тока в соответствии с требованиями «Правил» должна превышать не менее чем в 3 раза номи­нальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя или в 1,5 раза ток максимального расцепителя ближайшего автомата. Это требование обеспечивает сгорание плавкой вставки и отключение автомата. Таково первое требо­вание «Правил» в отношении устройств зануления.

В цепь однофазного замыкания в сети с заземленной нейтралью входят сопротивления (рис. 9): обмоток (и маг­нитной цепи) трансформатора, фазного провода, нулевого провода (зануляющего проводника). Трансформатор и фаз­ный провод выбираются по нагрузке и другим факторам, не относящимся к системе зануления.

Для нулевого провода (зануляющего проводника) «Пра­вилами» предписывается следующее требование: его сопро­тивление не должно превышать более чем в 2 раза сопро- 25

тивление фазного провода наиболее мощной линии из числа питающих электроустановку или электроприемник (или про­водимость должна составлять не менее 50% проводимости фазного провода). Таково второе требование «Пра­вил» в отношении устройств зануления.

Первое требование в большинстве случаев автоматиче­ски выполняется, если обеспечено выполнение второго тре­бования. Таким образом, необходимо главным образом обеспечить требуемую величину сопротивления нулевого провода (зануляющего про­водника).

При медных или алюми­ниевых проводах это сде­лать просто: необходимо принять сечение нулевого (зануляющего) провода рав­ным 50% фазного. Если же фазный провод медный или алюминиевый, а зануляю­щий—стальной, как это ча­сто бывает в промышленных установках, или если линия выполнена из стальных про­водников, то уже выбирать нулевой провод исходя из сечения фазных нельзя. Де­ло в том, что сопротивление стальных проводников пере- величины протекающего по про-

| Медь, *м1* | Сталь, |
| --- | --- |
| 1,5—3 | 15X3 |
| 5 | 20X4 |
| 8 | 30X4; 40x3 |
| 12,5 | 40x4 |
| 17,5—25 | 69x5 |
| 35 | 80x8 |
| 47,5-50 | 100x8 |

зависит от

Таблица 7

Сечения стальных зануляю­щих проводников, соответст­вующие медным нулевым про­водам

менному току воднику тока; кроме того, оно зависит от профиля стали (круглый провод, полоса и т. д.), так как в стальном про­воднике переменный ток распределяется неравномерно и по большей части протекает по его периметру, т. е. во части, прилегающей к внешним поверхностям. Поэтому, напри­мер, круглая сталь как проводник имеет менее выгодный профиль, чем полосовая.

В табл. 7 приведены рекомендованные «Правилами» сечения проводников из полосовой стали, примерно соответ­ствующие сечениям медных нулевых проводов при проте­кании токов замыкания на корпус в установках до 1 000 в с заземленной нейтралью. При алюминиевых фазных про­водах тех же сечений, что и медные, можно пользоваться той же таблицей, но принимать стальные проводники сече­нием на одну ступень меньше.

Для зануляющих проводников во всех случаях не тре­буются сечения более 70 *мм2* для алюминиевых, 50 лш2 — для медных и 800 лш2—для стальных проводников (табл. 7).

Если в качестве зануляющих проводников используют­ся дополнительно металлические конструкции зданий, тру­бопроводы, оболочки кабелей (табл. 8) и другие естествен­ные проводники, то не требуется применять специально про­ложенные стальные проводники сечением более 160 лш2.

Нулевые стальные провода воздушных линий и электро­проводок выбираются по таблицам, где указаны их сопро­тивления при определенном токе. Они могут иметь диамет­ры меньше указанных в табл. 5, но при этом диаметры однопроволочных нулевых проводов в соответствии с тре­бованиями «Правил» должны приниматься равными диа­метрам фазных проводов.

Из сказанного выше следует, что правильный выбор за­нуляющих проводников имеет особо важное значение для обеспечения безопасности.

Таблица 8

Эквивалентные сечения металлических оболочек трехжильных кабелей с бумажной изоляцией по ГОСТ 340-53 и 6515-55

|  |  |
| --- | --- |
| Сечение жил кабе­лей, *мм1* | Эквивалентное сечение оболочек по меди, *мя?* |
| свинцовых | алюминиевых |
| 1 *кв* | 6 *кв* | 1 *кв* | 6 *кв* |
| 3X10 | 3,5 | 6,1 | 27,5 | 47 |
| 3x16 | 4,1 | 7,3 | 31,5 | 54,5\* |
| 3X25 | 4,5 | 7,5 | 33,9 | 55,2 |
| 3x35 | 5,0 | 9,1 | 40,7 | 65,3 |
| 3X50 | 6,2 | 10,0 | 52,2 | 74,8 |
| 3x70 | 7,7 | и.о | 59,2 | 80,1 |
| 3x95 | 9,9 | 13,1 | 71,5 | 88,5\* |
| 3X120 | 11,2 | 15,3 | 80,5 | 103,0\* |
| 3X150 | 13,3 | 16,7 | — | — |
| 3X185 | 15,7 | 18,3 | — | — |

• Данные приближенные.

11. ПРОКЛАДКА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ ПРОВОДНИКОВ, СОЕДИНЕНИЯ И ПРИСОЕДИНЕНИЯ

Заземляющие проводники должны обеспечивать без­опасность людей, между тем нарушение непрерывности це­пи заземления не нарушает нормальной работы установки

27

и может оставаться в течение длительного срока незаме­ченным. Поэтому для обеспечения надежности заземляю­щей проводки «Правила» предписывают принимать ряд мер:

1. Во избежание разрыва цепи заземления или зануле­ния в ней не должны устанавливаться рубильники, выклю­чатели или предохранители (за исключением случаев, ко­гда вместе с фазными отключаются заземляющие провод­ники) .

Например, установка выключателя или предохранителя в цепи зануления (рис. 12) может привести к поражению

Рис. 12. Ток поражения при установке выключателя или предохранителя в нулевом проводе.

Рис. 13. Зануление корпуса светиль­ника.

при прикосновении к занулен­ному корпусу, даже когда исправна изоляция. Это прои­зойдет, если перегорит встав­ка предохранителя или будет отключен выключатель.

Как показано на рис. 13, при неправильном присоеди­нении и возможном обрыве заземляющего проводника (отмечено на рисунке) последствия могут быть такими же, как и в случае, приведенном на рис. 12, т. е. корпус светиль­

ника получит через нить лампы то же напряжение, что и фазный провод.

В трехпроводной сети с изолированной нейтралью за­земление светильников выполняется отдельным проводни­ком (рис. 14).

На рис. 15 показано включение ламповых патронов. По­мимо случаев неправильной установки выключателя, здесь могут иметь место неправильные присоединения фазного провода к винтовой гильзе патрона, что не должно допу­скаться, так как во многих конструкциях гильза недоста­точно закрыта от случайного прикосновения.

Разрыв цепи заземления может также произойти при последовательном соединении корпусов заземляемого обо рудования вместо параллельного (рис. 16); при ремонтепервого из электродвигателей линия заземления второго может быть разорвана.

1. Зануление электроприемников может быть осуще­ствлено одним из следующих способов:

а) отдельно проложенным медным или алюминиевым зануляющим проводником;

б) присоединением к нулевому проводу;

Рис. 14. Заземление корпу­са светильника в трехпро­водной сети.

Рис. 15. \_ Включение ламповых патронов.

в) присоединением к магистрали зануления полосовой сталью либо с использованием стальных труб электропро­водки, металлических оболочек кабелей (при достаточной их проводимости) и т. п.

В связи с возможностью обрыва нулевого провода, из-за чего электроприемники могут остаться незаземленными, «Правила» предписывают уст­раивать повторные за­земления нулевого провода.

Повторные заземления устра­иваются на вводах в здания (снаружи или внутри зданий) и воздушных линиях через каждый километр.

Общий вид сети с зануле­нием показан на рис. 17.

1. Заземляющие проводни­ки должны быть защищены от механических и химических

*£ В*

*А*

*Правильно Неправильно*

Рис. 16. Присоединение зазем­ляющих проводников к маги­

страли заземления.

воздействий. Механическая

прочность обеспечивается соответствующим выбором сече­ний, а также защитой в местах пересечений в земле с дру­гими коммуникациями (трубопроводы, кабели и т. п.). За­щита от химических воздействий может осуществляться соответствующими покрытиями или окраской. С этой же



Рис. 17. Общий вид сети с занулением электрооборудования.

целью заземляющие проводники прокладываются на неко­тором расстоянии от стен (рис. 18).

1. Заземляющие проводники, за исключением стальных труб скрытой проводки, оболочек кабелей в земле и т. п., для возможности осмотра целости проводки должны про­кладываться в помещениях открыто; не должна допускать­ся прокладка их скрыто в фундаментах машин, стенах и

других местах, где осмотр невозмо­жен. Проходы через стены и пере­крытия должны выполняться во втулках из листовой стали или от­резках стальных труб; заземляю­щие проводники должны проходить в них свободно.

Рис. 18. Прокладка шин заземления по стене.

1. Открытые заземляющие про­водники должны быть окрашены в фиолетовый цвет, для того чтобы облегчить распознавание их элек­

тротехническим персоналом и обратить внимание прочих лиц на специальное назначение этих проводок (нулевые провода воздушных линий и электропроводок не окраши­ваются).

1. Соединения заземляющей проводки должны обеспе­чивать надежный контакт. Присоединение заземляющих магистралей к заземлителям следует осуществлять в двух местах. Эти присоединения, а также соединения сталь­ных проводников в земле должны осуществляться сваркой внахлестку. Длина нахлестки принимается равной двойной

зо

ширине при прямоугольном сечении и 6-кратному диамет­ру— при круглом (рис. 19).

Болтовые соединения следует допускать как исключение в местах, где при монтаже отсутствует электроэнергия, а также при присоединениях (хомутами) к трубопроводам. Присоединения заземляющих проводников к корпусам ма­шин, аппаратов и т. д. должны осуществляться надежным болтовым соединением или 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



Рис. 19. Соединения и ответвления шин заземления.

коррозии (хорошо себя зарекомендовала так называемая «морская смазка» АМС-1 заводов нефтяной промышлен­ности) .

Присоединение заземляющих проводников к оборудова­нию, подвергающемуся частому демонтажу, или на движу­щихся частях следует выполнять гибкими проводниками.

Места присоединения к трубопроводам должны выби­раться с учетом возможности их разъединения при ремонт­ных работах. Поэтому у водомеров, задвижек и т. п. сле­дует предусматривать обходные соединения.

1. Металлические оболочки кабелей (свинцовые, алю­миниевые) должны, иметь надежные соединения по всей длине линии между собой и с корпусами соединительных, концевых и других муфт. На концах линий металлические оболочки и муфты кабелей должны быть соединены гибки­ми медными проводниками и присоединены к магистрали заземления.

В табл. 9 приведены рекомендованные НИИ кабельной промышленности сечения этих проводников для заземления металлических свинцовых или алюминиевых оболочек ка­белей и корпусов кабельных муфт.

| Сечение жил ка­белей, *мм2* | Сечение медного заземляющего проводника, *мм2* |
| --- | --- |
| До ЗхЮ | 6 |
| 3x16 | 10 |
| 3x25 | 10 |
| 3x35 | 10 |
| 3x50 | 16 |
| 3X70 | 16 |
| 3x95 | 16 |
| 3X120 | 16 |
| 3x150 и выше | 25 |

Все соединения металлических оболочек кабелей и со­единительных муфт (свинцовых или медных) с заземляю­щими проводниками осуществляются пайкой; для обеспече­ния прочности припаянные проводники должны быть до­полнительно закреплены, например проволочными банда­жами. Присоединения к чугунным или стальным защитным корпусам соединительных муфт, а также присоединения к концевым муфтам и во­ронкам осуществляются при помощи болтов.

Таблица 9

Сечения гибких медных заземляющих проводников кабельных линий

Заземление проводов с металлической оболочкой (СРГ, ТПРФ и т. п.) также выполняется при помощи гибких проводников пайкой. При этом заземляющий проводник предварительно для закрепления наматыва­ется на проводе в два-три витка.

1. Стальные трубы, ис­пользуемые для заземления, должны иметь надежные со­единения. При открытой прокладке могут применять­ся хорошо затянутые муфты на сурике с контргайкой на стороне длинного участка резьбы (сгон) либо иные кон­струкции, дающие надежный контакт. При скрытой про­кладке должны применяться только муфты на сурике, причем они должны быть дополнительно приварены с каж­дой стороны в одной-двух точках.

Если трубы используются для занулений, то даже при открытой прокладке необходимо1 соединительные муфты до­полнительно приваривать к трубам в одной-двух точках.

При тонкостенных трубах нельзя рекомендовать при­варку муфт или других соединителей в одной-двух точках непосредственно на монтаже из-за возможного прожига тонкой стенки трубы. Поэтому при прокладке этих труб целесообразно предварительно в монтажных мастерских у концов отдельных труб приварить стальные флажки, а уж 32 затем на месте монтажа приваривать между флажками перемычки или сваривать флажки между собой.

1. Соединения нулевых проводов воздушных линий до­пускается производить теми же методами, что и фазных (например, сжимами).
2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО
УСТРОЙСТВА

Рассмотрим следующий пример расчета заземляющего устройства. Заземляющее устройство подстанции требуется выполнить с сопротивлением *RK* = 4 *ом.* Грунт в районе под­станции имеет замеренное удельное сопротивление р=0,6-104 *ом-см.* Заземлитель выполняется из уголков 50X50 *мм* длиной 2,5 *м,* соединяемых стальными полосами 40X4 *мм.*

Требуется определить количество уголков и длину сталь­ной полосы.

Вначале определяем приближенно количество уголков и общую длину стальной полосы.

По табл. 3 уголок 50x50 *мм* имеет сопротивление рас­теканию

0,00318 р = 0,00318-0,6-104— 19,1 олг.

По наведенным справкам (на метеорологической стан­ции) район относится ко II климатической зоне по табл. 4. В соответствии с этой таблицей для учета высыхания или промерзания грунта принимаем для уголков повышающий коэффициент равным 1,8. Тогда сопротивление одного угол­ка будет равно

19,1 • 1,8 = 34,4 *ом.*

Примем расположение уголков возле подстанции в один ряд с расстоянием между ними 3 *м* (см. рис. 11), т. е. кон­тур заземления будет относительно простым.

Для учета взаимоэкранированпя уголков в контуре при­нимаем коэффициент использования (см. § 9) равным 2 [[2]](#footnote-3). Таким образом, сопротивление одного уголка в контуре следует принимать равным

34,4-2 = 68,8 *ом,*

а количество уголкоа

68,8 \_ ад .

~ 4

Таким образом, можно было бы принять для контура 17 уголков, если не учитывать еще сопротивления растека­нию полосы как заземлителя. Однако при длине около 48 *м,* которая требуется для соединения 17 уголков, учет этого сопротивления, как увидим, даст возможность уменьшить их количество. По графику на рис. 10 находим, что сопро­тивление полосы длиной 48 *м* равно примерно 2 *ом.* По табл. 4 принимаем повышающий коэффициент 4 на высы­хание или промерзание грунта; коэффициент, учитывающий взаимоэкранирование полосы с трубами, принимаем рав­ным 2,5. Таким образом, сопротивление полосы следует считать равным

2-4-2,5 = 20 *ом.*

Уголки и полоса представляют собой два параллельно соединенных сопротивления. Их общее сопротивление, т. е. сопротивление контура заземляющего устройства подстан­ции *Rk;* определяется из уравнения

1 1 *I* 1

где /? — общее сопротивление всех уголков;

*Rn —* сопротивление полосы.

Из этого уравнения находим, что общее сопротивление уголков должно быть равно

*„ \_\_ RKRn* 4-20
*Rn—RK~* 20 — 4 5 ом-

Теперь уточняем требуемое количество уголков. Оно равно

68,8 < о о и

— = 13,8; принимаем 14.

Чтобы оставить длину соединительной полосы равной 48 *м,* удлиняем ее на двух углах контура на 4,5 *м* с каж­дой стороны.

Фактическое сопротивление заземляющего устройства должно проверяться измерением на объекте. В случае не- 34

обходимости к контуру присоединяются дополнительные заземлители.

Приведенный выше расчет выполнен исходя из того, что поблизости нет естественных заземлителей (^ест)- Если же они имеются, необходимо произвести измерение их сопро­тивления. Если сопротивление их достаточно мало (4 *ом* или ниже для данного примера), то устройства искусствен­ных заземлителей не требуется. Если оно слишком велико, то его уменьшают путем добавления искусственных за­землителей.

Допустим, что в рассмотренном выше случае можно ис­пользовать имеющийся вблизи естественный заземлитель (водопровод) с сопротивлением 5 *ом.* В таком случае искус­ственный заземлитель должен быть выполнен уже не на 4 *ом,* а только на 20 *ом.* Его сопротивление подсчитывается по формуле

*г, ^к^ест* 4’5 лл

\*„« = s^=s; = s=4=20 “\*■

Дальнейший расчет производится так же, как указано выше.

1. ПРАВИЛЬНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ — ОСНОВА
БЕЗОПАСНОСТИ

Практика эксплуатации оборудования показывает, что подавляющее большинство несчастных случаев происходит из-за несоблюдения правил устройства, правил эксплуата­ции и правил техники безопасности.

Правильность устройства заземлений должна тщательно проверяться при их приемке в эксплуатацию после оконча­ния монтажных работ. Должны быть проведены необходи­мые испытания с целью определения соответствия заземле­ний «Правилам» и данным проекта. Проверяются сечения, целость и прочность заземляющих проводников, всех соеди­нений и присоединений.

При приемке заземляющих устройств в эксплуатацию должны быть предъявлены: а) исполнительные чертежи и схемы устройства; б) акты на подземные работы; в) прото­колы испытаний» [«Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей» (ПТЭ), 1953 г., § 858J.

В эксплуатации установок должны соблюдаться указан­ные ниже сроки осмотров и испытаний заземляющих устройств.

3\* 35

Осмотр наружной части заземляющей проводки, про­верка надежности присоединения к ней оборудования и со­стояния пробивных предохранителей 1 должны производить­ся одновременно с текущими и капитальными ремонтами оборудования (ПТЭ, § 859).

Измерения сопротивлений заземляющих устройств на электростанциях, подстанциях и линиях электропередачи высокого напряжения с выборочным вскрытием отдельных элементов заземляющего устройства должны произво­диться не реже 1 раза в 5 лет[[3]](#footnote-4) [[4]](#footnote-5). Результаты измерений должны оформляться актом (ПТЭ, § 860).

ПТЭ электроустановок промышленных предприятий (издания 1951 г.) требуют для фабрично-заводских уста­новок производить измерение сопротивления заземляющих устройств и проверять наружные части заземляющей провод­ки не реже 1 раза в год (для воздушных линий 1 раз в 5 лет), а состояние пробивных предохранителей — ежемесячно.

На каждое отдельное заземляющее 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 (ПТЭ, § 861).

Перед началом ремонтных работ в электрических уста­новках в ряде мест приходится выполнять временные переносные 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 ПТЭ. Проводники переносных заземлений должны быть из меди, устойчивы по нагреву при коротких замыканиях и иметь сечение не менее 25 ли/2. Наконечники следует напаивать твердым припоем или на­варивать.

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

Статистика электротравматизма показывает, что боль­шое количество несчастных случаев происходит при поль­зовании переносным электрооборудованием. Поэтому на правильную его эксплуатацию должно быть обращено осо­бое внимание.

К переносному электрооборудованию относятся: элек­троинструмент (электросверлилки, электромолотки и др.) и электроаппараты производственного назначения, быто­вые приборы всякого рода, детские игрушки, лампы и по­добные им электроприемники, присоединяемые к источнику тока гибким проводом через штепсельную розетку.

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

Большое количество случаев электротравматизма при пользовании переносным оборудованием объясняется не только его широким применением в промышленности и бы­ту, но главным образом прямыми нарушениями правил тех­ники безопасности, дефектами конструкции самого обору­дования и гибких связей и, наконец, применением всяких устарелых и самодельных устройств.

В условиях производственных помещений или наружных работ, где обычно имеет место повышенная опасность, кор­пуса переносного оборудования в соответствии с требова­ниями «Правил» должны быть заземлены, за исключением оборудования, работающего при напряжениях 36 и 12 *в.* Согласно «Правилам» заземляющий проводник должен на­ходиться в общей оболочке с фазными проводниками и иметь равное с ними сечение (не менее 1,5 лш2), причем должны применяться гибкие проводники. Таким образом,отдельно проложенные заземляющие проводники не допу­скаются, так как имеется опасность их обрыва.

При хорошо поставленной эксплуатации состояние обо­рудования и гибкие связи должны подвергаться достаточно частой проверке, в частности после ремонтов. В отношении электроинструмента, вообще говоря, проверку следует де­лать перед каждой его выдачей.

Неправильное присоединение заземляющих проводни­ков электроинструмента (рис. 20) служило неоднократно причиной несчастных случаев. Ненадежное их присоединение (навеской без закрепления) или совмещение заземляюще­го проводника с нулевым про­водом поэтому не должны до­пускаться.

P.ic. 20. Заземление перенос­ного электроинструмента.

Переносные лампы должны применяться в соответствии с требованиями техники без­опасности и не иметь токоведущих частей, доступных при­косновению. Такие лампы не заземляются.

Штепсельные розетки и вилки для переносных электро­приемников в производственных условиях должны иметь специальные контакты для присоединения заземляющего проводника (рис. 21). Конструкция такого штепсельного соединения исключает возможность использования токове­дущих контактов в качестве контактов, предназначенных для заземления. Соединение между заземляющими контак­тами штепселя и розетки устанавливается до того, как вой­дут в соприкосновение токоведущие контакты; порядок от­ключения—обратный. Для этой цели заземляющий контакт имеет большую длину, чем токоведущие. Заземленный кон­такт штепсельной розетки должен быть электрически со­единен с ее корпусом, если последний выполнен из металла.



Рис. 21. Штепсельная вилка с зазем­ляю.ним контактом.

В помещениях жилых домов и общественных зданиях, где полы изготовляются из дерева и других материалов, яв­ляющихся хорошей изоляцией, заземление переносного электрооборудования не требуется.

1. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Существует ряд способов измерения сопротивления за­земляющих устройств. Ниже приводится описание принци­па измерения при помощи одного из широко применяемых в практике приборов — измерителя заземлений завода «Энергоприбор» типа МС-07 (МС-08).

Прибор работает по принципу магнитоэлектрического логометра. Основными деталями прибора являются две



Рис. 22. Принципиальная схема измзрчтеля заземлений завода „Энергоприбор’.

*Et, /2, Е2 —* обозначения зажимов прибора.

рамки, одна из которых *1—1* включается как амперметр, вторая — *2—2 —* как вольтметр. Эти катушки воздействуют на ось прибора в противоположных направлениях. Благо­даря такому устройству отклонения стрелки прибора про­порциональны сопротивлению (величине *UII),* а 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£?п.

Для измерения сопротивления отдельных заземлителей или сложных заземляющих устройств требуется еще два специальных заземлителя — зонд *3* и вспомогательный за­землитель *В.*

Зонд служит для получения в схеме точки с нулевым потенциалом, по отношению к которой может быть изме­рен потенциал испытываемого заземления. В качестве зон­да может служить стальной стержень с заостренным кон­цом, забиваемый в землю.

Вспомогательный заземлитель создает цепь для измери­тельного тока через этот заземлитель и испытываемый.

Измерительная цепь проходит от зажима плюс генера­тора через рамку *1—1,* вспомогательный заземлитель, испы­тываемый заземлитель, прерыватель и генератор. Рам­ка *1—1* получает постоянный ток от генератора, затем пре­рыватель /7 преобразует ток в переменный, который по­ступает в землю через вспомогательный заземлитель *В.* В рамку *2—2,* включенную между испытываемым зазем лителем и зондом, подается выпрямленное через выпрями­тель *Вп* напряжение. Таким образом, благодаря наличию прерывателя и выпрямителя через рамки логометра проте­кает постоянный ток (сплошные линии), а через землю — переменный (пунктирные линии) . Наличие выпрямителя препятствует также попаданию блуждающих токов в рам­ку *2—2.*

Для уменьшения погрешности последовательно с рам кой *2—2* включено добавочное сопротивление 7?d, равное 150000 *ом.*

Расстояние между испытываемым заземлителем и зон­дом должно быть не менее: для одиночных заземлителей — 20 *м,* для заземлителей из нескольких (двух—пяти) труб— 40 *м,* для сложных заземляющих устройств — не менее 5-кратного значения наибольшей диагонали (О) площади, занимаемой испытываемым заземлителем. Расстояния меж­ду вспомогательным и испытываемым заземлениями сле­дует брать не менее 40 *м* при простых заземлителях и не менее 5D + 40 — при сложных.

Уменьшение указанных расстояний ведет к увеличению погрешности при измерениях. Измерения производят 2— 3 раза и определяют среднее значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок, Госэнергоиздат, 1957.
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей, Госэнергоиздат, 1953.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок про­мышленных предприятий, Госэнергоиздат, 1951.
4. Н а й ф е л ь д М. Р., Защитные заземления в ктротехниче-

ских установках, Госэнергоиздат, 1959. % » \

Цена 1 р. 20 к.

„ БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА “

Готовятся к печати

Амосов Б. В.— Устройство и эксплуатация сва­рочных генераторов и трансформаторов

Боярченков М. А.— Магнитные усилители и их работа в системах автоматики

И л ь и и с к и й Н. В.— Расчет и выбор пусковых сопротивлений тля электродвигателей

Каминский Е. А.— Изоляция оперативных цепей

Каминский Е А.— Как сделать проект про­стейшей электроустановки

Камнев В. С.— Как работают подшипники элек­трических машин

Карпов Ф. Ф.— Как проверить допустимость подключения короткозамкнутого электродвигателя к сети

Карпов Ф. Ф.— Как выбрать сечение проводов и кабелей '

Константинов Б. А. и ШулятьеваГ. Н.— Коэффициент мощности (cos <р) и способы его повы­шения на промышленных предприятиях

Ларионов В. П.— Грозозащита сооружений и зданий

Л и в ш и ц Д. С.— Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1 000 *в*

Образцов В. А.— Уход за контактами низко­вольтных аппаратов

Осколко.в К. Н.— Электроизмерительные при­боры и как ими пользоваться

Р и в л и н Л. Б.— Как определить неисправность асинхронного электродвигателя

Рябикин Б. П.— Скрытые виды проводок

Славенчннский И. С. иХромченкоЕ. Г.—

Пробивка отверстий и борозд в бетоне

Федотов Б. Н.— Схемы включения электриче­ских счетчиков

Харитонов М. Г.— Опыт обслуживания и ре­монта КРУ Запорожского завода

Хромченко Г. Е.— Соединение и оконцевание медных и алюминиевых проводов

Черепенин П. Г.— Монтаж асинхронных элек­тродвигателей небольшой мощности

Шапиро Е. А.— Пружины электрических аппа­ратов

1. Под землей в данном случае следует понимать достаточно удаленные от заземлителя точки, в которых не сказывается влияние протекающего через заземлитель тока (точки нулевого потенциала). [↑](#footnote-ref-2)
2. Выбор коэффициентов использования приведен в специальной литературе и электротехнических справочниках.

3—1549 33 [↑](#footnote-ref-3)
3. ’ Пробивные предохранители устанавливаются на вторичной об­мотке трансформаторов при изолированной нейтрали и вторичном напряжении до 500 *в.*

В случае повреждения обмоток и попадания высокого напряже­ния на обмотку низшего напряжения изолирующий промежуток пре­дохранителя пробивается и последняя соединяется с землей через сеть заземления установки. [↑](#footnote-ref-4)
4. При применении искусственной обработки грунта дли уменьшения сопротивления заземлителей солью или другими веществами этот срок следует сократить примерно до 2 лет 36 [↑](#footnote-ref-5)