

Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

М. Р. НАЙФЕЛД

ЧТО ТАКОЕ
ЗАЩИТНОЕ
ЗАЗЕМЛЕНИЕ
и КАК ЕГО
УСТРАИВАТЬ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

1363

Выпуск 2

621.31
4-20

М. Р. НАЙФЕЛЬД

ЧТО ТАКОЕ
ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ
И КАК ЕГО УСТРАИВАТЬ

10254



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

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	3
1. Введение	4
2. Защитное заземление в сети с изолированной нейтралью	6
3. Заземляющее устройство	10
4. Напряжение шага. Напряжение прикосновения. Выравнивание потенциалов	12
5. Защитное заземление в сети с заземленной нейтралью (зануление)	14
6. В каких случаях требуется заземление	16
7. Сопротивления заземляющих устройств	18
8. Влияние характера грунта и его состояния на сопротивление растеканию заземлителей	19
9. Естественные заземлители и заземляющие контуры	22
10. Заземляющие проводники	23
11. Прокладка заземляющих проводников, соединения и присоединения	27
12. Пример расчета заземляющего устройства	33
13. Правильная эксплуатация — основа безопасности	35
14. Измерение сопротивления заземляющих устройств	39
<i>Литература</i>	40

Автор — Марк Романович Найфельд

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/II 1959 г.

Бумага 84×108^{1/2}

Уч.-изд. л. 24

Т-02842

Тираж 35.000 экз.

Цена 1 р. 20 к.

Зак. 1549

Типография Госэнергоиздата, 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-114, 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. *квт·ч*. Для сравнения напомним, что в дореволюционной России в 1913 г. производство электроэнергии составляло всего 1,94 млрд. *квт·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 особое 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-

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

Соппротивление человеческого тела не является величиной определенной и может иметь широкие пределы колебаний от примерно 1000 (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, корпуса электрических приемников заземляются.

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 ней-

тралью 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.

2. 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.

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

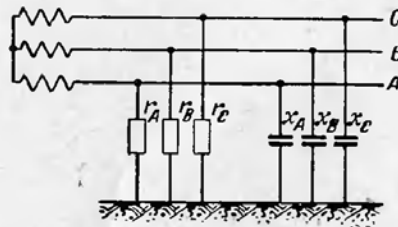


Рис. 1. Схема сети трехфазного тока с изолированной нейтралью.

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

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 мегомметром сопротивление изоляции этого провода равно 0,5 *Мом*. Тогда ток на землю этой фазы равен $\frac{220}{0,5 \cdot 1\,000\,000} = 0,00044$ а (*a* — ампер) или 0,44 *ма*. Этот ток называется током утечки.

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

¹ 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-

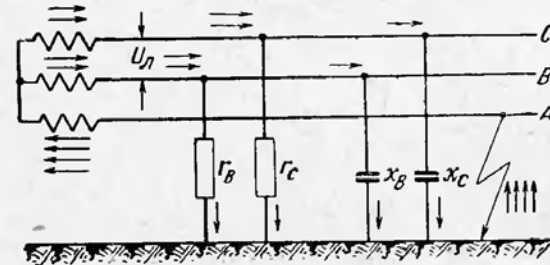


Рис. 2. Замыкание на землю в сети с изолированной нейтралью.

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 x_A , x_B и x_C 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, *A*) 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 *A* и землей мало, то токи утечки и емкостные токи на землю этой фазы заменяются током замыкания на землю. Теперь под воздействием линейного напряжения сети U_A 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 однофазным замыканием на землю, а возникающий при этом аварийный ток — током однофазного замыкания.

Представим себе теперь, что однофазное замыкание вследствие повреждения изоляции произошло 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 замыканием на корпус.

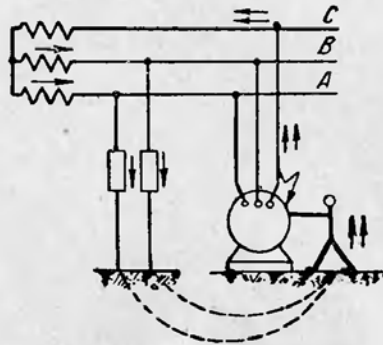


Рис. 3. Замыкание на корпус в сети с изолированной нейтралью при отсутствии заземления.

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 сопротивления не показаны).

Ток в этой 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-

лей 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 при-

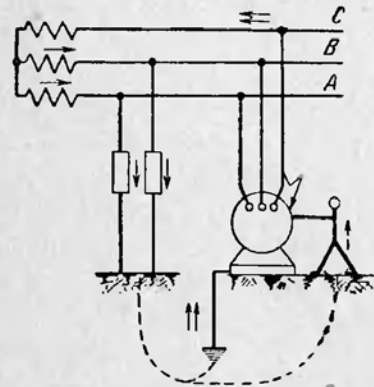


Рис. 4. Заземление электроприемника.

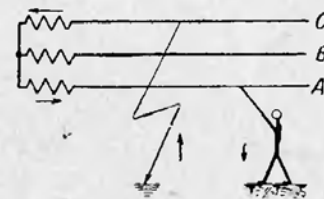


Рис. 5. Прикосновение к токоведущему проводнику при наличии в сети «земли».

годно не всякое заземление, а только имеющее достаточно малое сопротивление.

Если заземление выполнено в соответствии с требованиями «Правил», т. е. с достаточно малым сопротивлением (об этом см. ниже в § 7), то непосредственной опасности при прикосновении к заземленному корпусу не возникает.

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 поражения электрическим током, даже при исправном заземлении. Это видно, например, из рис. 5, где показано протекание тока поражения при случайном прикосновении к токоведущему проводу и неустраненной «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.

Образовавшееся двойное замыкание на землю представляет собой для человека более серьезную опасность по сравнению с однофазным замыканием.

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.

3. 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 O (рис. 6) находится заземлитель Z в виде уголка и через этот заземлитель протекает ток однофазного замыкания на землю. Зададимся целью определить напряжения по отношению к земле¹ на разных расстояниях от заземлителя. Если замерить напряжения между точками земли, находящимися на разных расстояниях в любом направлении от заземлителя, и точками нулевого 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

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).

к земле всех точек, расположенных от заземлителя на расстояниях, больших 20 м (точка M), 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-

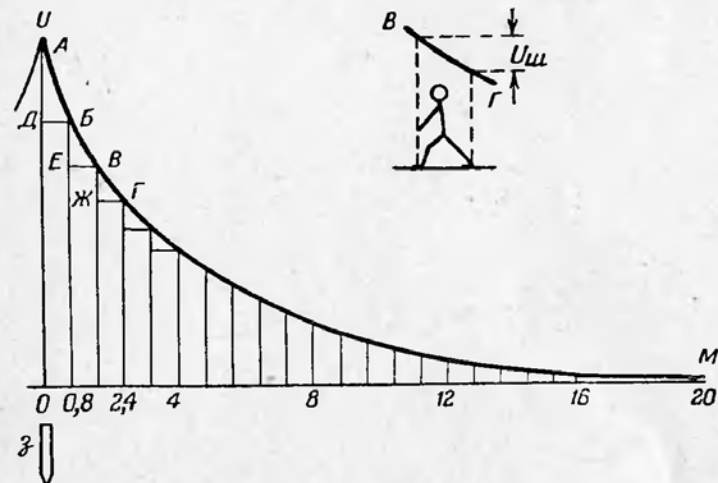


Рис. 6. Напряжение по отношению к земле на различных расстояниях от заземлителя и напряжение шага.

ми, еще более удаленными, не обнаруживается сколько-нибудь ощутимо. Сопротивление, которое оказывает току земли 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 R_z (ом), а ток замыкания на корпус через I_s (а), то напряжение корпуса по отношению к земле будет равно произведению $I_s R_z = U_s$ (в).

Если, например, ток замыкания на землю в сети равен 15 а, а сопротивление заземляющего устройства 4 ом, то напряжение по отношению к земле U_s равно $15 \cdot 4 = 60$ в.

4. 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 и т. д., а падения напряжения между этими точками — отрезками АД, БЕ, ВЖ и т. д. Таким образом, если разбить линию ОМ 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 ($U_{ш}$). 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

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 $I_s R_z$, либо под частью этого напряжения.

То напряжение, под которым оказывается человек в цепи замыкания, называется напряжением прикосновения $U_{пр}$.

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 $I_s R_z$. 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 $U_{пр}$, составляющим только часть полного напряжения по отношению к земле ($I_s R_z$). 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.

5. 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 (U_{ϕ}) 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 R_3 и нейтрали R_0 (см. стрелки).

По известному закону электротехники фазное напряжение сети U_{ϕ} распределится между заземлителями R_3 и R_0 пропорционально их величинам, т. е. чем больше сопротивление заземлителя, тем больше будет падение напряжения в нем. Если, например, сопротивление $R_0 = 1 \text{ ом}$, $R_3 = 4 \text{ ом}$ и $U_{\phi} = 220 \text{ в}$, то падение напряжения распределится так:

$$\text{на сопротивлении } R_3 \text{ будем иметь } \frac{220 \cdot 4}{1 + 4} = 176 \text{ в};$$

$$\text{на сопротивлении } R_0 \text{ будем иметь } \frac{220 \cdot 1}{1 + 4} = 44 \text{ в}.$$

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

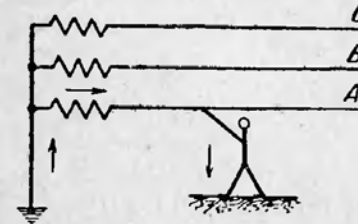


Рис. 7. Прикосновение к проводнику в сети с заземленной нейтралью.

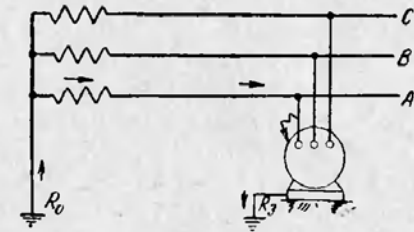


Рис. 8. Заземление электроприемника в сети с заземленной нейтралью.

прикоснувшийся к корпусу, может быть поражен электрическим током. Если будет иметь место обратное соотношение сопротивлений, т. е. R_0 будет больше, чем R_3 , опасное напряжение может возникнуть между землей и корпусами оборудования, установленного возле трансформатора и 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 провод сети или специальный зануляющий проводник (рис. 9). Благодаря этому всякое замыкание на корпус превращается в короткое замыкание, и аварийный участок отключается предохранителем или автоматом. Такая система заземления называется занулением.

Таким образом, обеспечение безопасности при занулении достигается путем отключения уча-

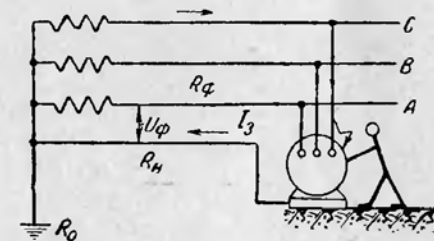


Рис. 9. Зануление электроприемника в сети с заземленной нейтралью.

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 ($I_s R_n$) 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).

6. 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, металлические корпуса кабельных муфт, металлические оболочки кабелей и проводов, стальные трубы электропроводки, ме-

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 на 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 электронизмерительных 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 опасности¹.

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.

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).

7. 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

Род установки	Сопротивление заземляющего устройства, ом
1. Электроустановки напряжением 6 000—35 000 в:	
а) при одновременном использовании заземляющего устройства в установках напряжением до 1 000 в	$\frac{125}{I_p}$, но не более 10
б) только для установок напряжением выше 1 000 в	$\frac{250}{I_p}$, но не более 10
I_p — расчетный ток замыкания на землю (значение его задается энергосистемой).	
2. Электроустановки напряжением до 1 000 в с заземленной нейтралью	4
То же при мощности генераторов и трансформаторов до 100 ква	10
3. Электроустановки напряжением до 1 000 в с изолированной нейтралью	4
То же при мощности генераторов и трансформаторов до 100 ква	10
4. Железобетонные и металлические опоры воздушных линий напряжением выше 1 000 в при удельном сопротивлении грунта ¹ :	
до 10^4 ом·см	10
более 10^4 до $5 \cdot 10^4$ ом·см	15
„ $5 \cdot 10^4$ до $10 \cdot 10^4$ ом·см	20
„ $10 \cdot 10^4$ ом·см	30
5. Железобетонные и металлические опоры воздушных линий напряжением до 1 000 в при изолированной нейтрали	50
6. 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 сопротивлении грунта см. § 8.

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

8. 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 ρ — «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 1 см; оно измеряется в ом·сантиметрах (ом·см).

Чтобы представить себе, что представляет собой это сопротивление, напомним, что кубик меди с ребрами 1 см имеет сопротивление $0,0175 \cdot 10^{-4}$ ом при 20° С; таким образом, например, при значении $\rho = 1 \cdot 10^4$ 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 ρ , ом·см

Наименование грунта	Пределы величины $\times 10^4$
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)
Торф	0,2
Речная вода	0,5
Морская вода	0,002—0,01

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	$0,00308\rho$
2. Угловая сталь 50×50 мм длиной 250 см	$0,00318\rho$
3. Угловая сталь 60×60 мм длиной 250 см	$0,00298\rho$
4. Полосовая сталь шириной 40 мм или круглая диаметром 20 мм	См. рис. 10
Прямоугольная пластина (при небольшом отношении размеров сторон), заложённая вертикально	$0,25 \frac{\rho}{\sqrt{ab}}$, где a и b — размеры сторон пластины, см

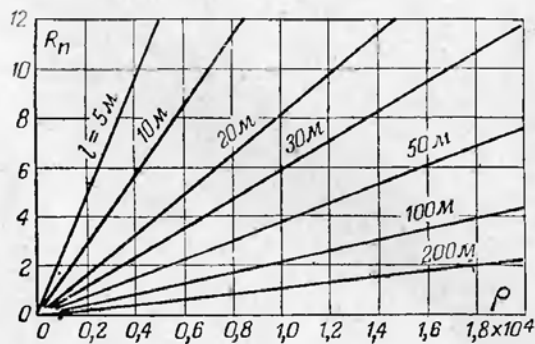


Рис. 10. Сопротивление растеканию полосовой стали шириной 40 мм или круглой диаметром 20 мм.

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 — промерзнуть. И в том и в другом случаях сопротивление растеканию заземлителей возрастает, часто довольно значительно.

Таблица 4

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

Данные, характеризующие климатические зоны и тип применяемых заземлителей	Климатические зоны СССР			
	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 +16 до +18° С	От +18 до +22° С	От +22 до +24° С	От +24 до +26° С
3. Среднегодовое количество осадков, см . .	~40	~50	~50	30—50
4. Продолжительность замерзания вод, дней	190—170	~150	~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 непромерзающих 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 растеканию 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.

9. 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.



Рис. 11. 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

сумма проводимостей параллельно включенных проводников). Однако при контурных заземлителях приходится считаться с явлением так называемого взаимозащитного влияния 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 взаимозащитное влияние влияет на общее сопротивление растеканию. Поэтому отдельные заземлители следует располагать с расстояниями между ними не менее 2,5 и до 5 м.

Коэффициенты, учитывающие увеличение сопротивления растеканию вследствие взаимозащитного влияния, 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 110 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).

10. 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, галерей, 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) и 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 1000 в и выше 1000 в

Наименование	В зданиях	В наружных установках	В земле
Круглые проводники	Диаметр 5 мм	Диаметр 6 мм	
Прямоугольные проводники	Сечение 24 мм ² , толщина 3 мм	Сечение 48 мм ² , толщина 4 мм	
Угловая сталь	Толщина полок 2 мм	Толщина полок 2,5 мм 4 мм	
Стальные газопроводные трубы	Толщина стенок 2,5 мм	Толщина стенок 2,5 мм 3,5 мм	
Стальные тонкостенные трубы	Толщина стенок 1,5 мм	Не допускаются	

Таблица 6

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

Наименование	Медь, мм ²	Алюминий, мм ²
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

В электроустановках напряжением до 1000 в с изолированной нейтралью допустимая нагрузка на магистральные заземляющие проводники в соответствии с требованием «Правил» должна быть не менее 50% допустимой длитель-

ной нагрузки на фазный провод наиболее мощной линии данного участка сети, а допустимая нагрузка на ответвления заземляющих проводников к отдельным электроприемникам — не менее 1/3 допустимой нагрузки фазных проводов, питающих эти электроприемники.

Для заземляющих проводников при напряжении как до так и выше 1000 в не требуются сечения больше 100 мм² — 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 3×50 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 25×3 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 сопротивление (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-

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).

Таблица 7

Сечения стальных зануляющих проводников, соответствующие медным нулевым проводам

Медь, мм ²	Сталь, мм ²
1,5—3	15×3
5	20×4
8	30×4; 40×3
12,5	40×4
17,5—25	60×5
35	80×8
47,5—50	100×8

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 переменному току зависит от величины протекающего по проводнику 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. по 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 1000 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 мм²—для медных и 800 мм²—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 мм².

Нулевые стальные провода воздушных линий и электропроводов 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, мм ²	Эквивалентное сечение оболочек по меди, мм ²			
	свинцовых		алюминиевых	
	1 кв	6 кв	1 кв	6 кв
3×10	3,5	6,1	27,5	47
3×16	4,1	7,3	31,5	54,5*
3×25	4,5	7,5	33,9	55,2
3×35	5,0	9,1	40,7	65,3
3×50	6,2	10,0	52,2	74,8
3×70	7,7	11,0	59,2	80,1
3×95	9,9	13,1	71,5	88,5*
3×120	11,2	15,3	80,5	103,0*
3×150	13,3	16,7	—	—
3×185	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

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

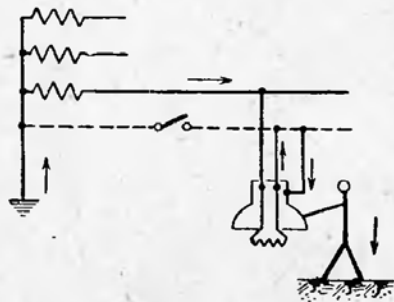


Рис. 12. Ток поражения при установке выключателя или предохранителя в нулевом проводе.

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 светильника 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 оборудования вместо параллельного (рис. 16); при ремонте

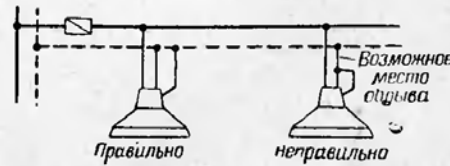


Рис. 13. Зануление корпуса светильника.

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

первого из электродвигателей линия заземления второго может быть разорвана.

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

- а) отдельно проложенным медным или алюминиевым зануляющим проводником;
- б) присоединением к нулевому проводу;

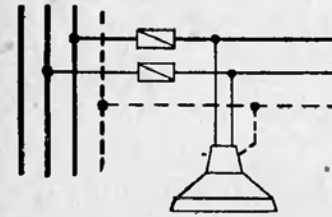


Рис. 14. Заземление корпуса светильника в трехпроводной сети.

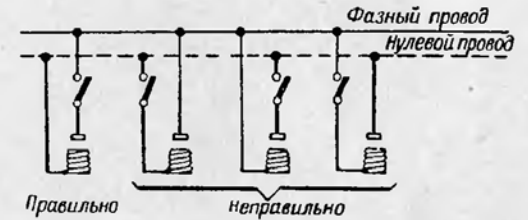


Рис. 15. Включение ламповых патронов.

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.

3. Заземляющие проводники должны быть защищены от механических и химических 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

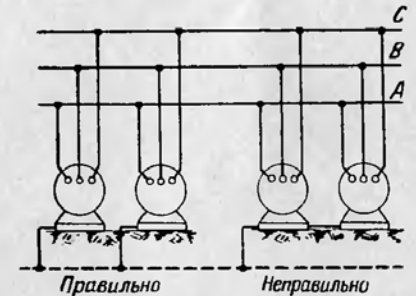


Рис. 16. Присоединение заземляющих проводников к магистрали заземления.

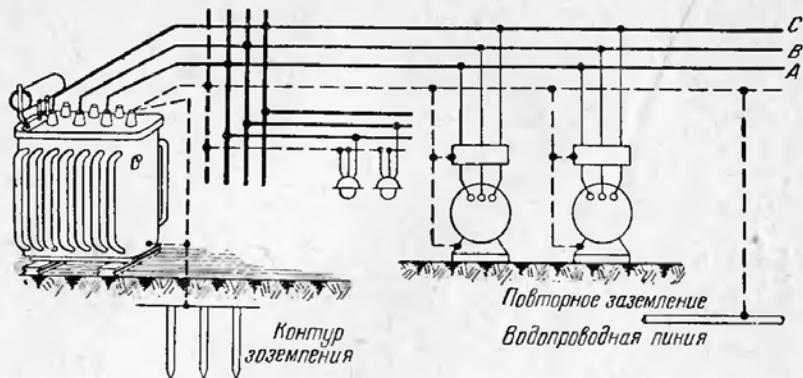


Рис. 17. Общий вид сети с занулением электрооборудования.

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

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

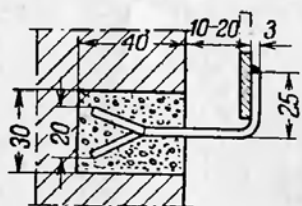


Рис. 18. Прокладка шин заземления по стене.

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.

5. Открытые заземляющие проводники должны быть окрашены в фиолетовый цвет, для того чтобы облегчить распознавание их электротехническим персоналом и обратить внимание прочих лиц на специальное назначение этих проводок (нулевые провода воздушных линий и электропроводок не окрашиваются).

6. 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

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 защищены и покрыты техническим вазелином. В местах, где возможно попадание влаги, и наружных установках контакты должны быть покрыты смазкой, защищающей их от

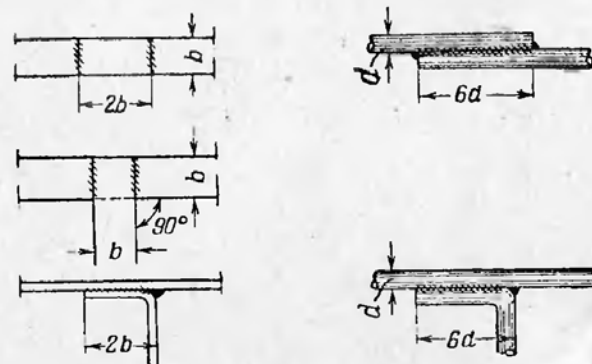


Рис. 19. Соединения и ответвления шин заземления.

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.

7. 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.

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

Таблица 9

Сечения гибких медных заземляющих проводников кабельных линий

Сечение жил кабелей, мм ²	Сечение медного заземляющего проводника, мм ²
До 3×10	6
3×16	10
3×25	10
3×35	10
3×50	16
3×70	16
3×95	16
3×120	16
3×150 и выше	25

к концевым муфтам и воронкам осуществляются при помощи болтов. 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.

8. 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 необходимо 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

затем на месте монтажа приваривать между флажками перемычки или сваривать флажки между собой.

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

12. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Рассмотрим следующий пример расчета заземляющего устройства. Заземляющее устройство подстанции требуется выполнить с сопротивлением $R_{\kappa} = 4 \text{ ом}$. Грунт в районе подстанции имеет замеренное удельное сопротивление $\rho = 0,6 \cdot 10^4 \text{ ом} \cdot \text{см}$. Заземлитель выполняется из уголков $50 \times 50 \text{ мм}$ длиной $2,5 \text{ м}$, соединяемых стальными полосами $40 \times 4 \text{ мм}$.

Требуется определить количество уголков и длину стальной полосы.

Вначале определяем приблизительно количество уголков и общую длину стальной полосы.

По табл. 3 уголок $50 \times 50 \text{ мм}$ имеет сопротивление растеканию

$$0,00318 \rho = 0,00318 \cdot 0,6 \cdot 10^4 = 19,1 \text{ ом}.$$

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

$$19,1 \cdot 1,8 = 34,4 \text{ ом}.$$

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 взаимозранирования уголков в контуре принимаем коэффициент использования (см. § 9) равным 2^* . Таким образом, сопротивление одного уголка в контуре следует принимать равным

$$34,4 \cdot 2 = 68,8 \text{ ом},$$

* Выбор коэффициентов использования приведен в специальной литературе и электротехнических справочниках.

а количество уголков

$$\frac{68,8}{R_k} = \frac{68,8}{4} \approx 17,2$$

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 взаимозранивание полосы с трубами, принимаем равным 2,5. Таким образом, сопротивление полосы следует считать равным

$$2 \cdot 4 \cdot 2,5 = 20 \text{ ом.}$$

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

$$\frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_{yz}} + \frac{1}{R_n} \text{ ом,}$$

где R_{yz} — общее сопротивление всех уголков;
 R_n — сопротивление полосы.

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

$$R_{yz} = \frac{R_k R_n}{R_n - R_k} = \frac{4 \cdot 20}{20 - 4} = 5 \text{ ом.}$$

Теперь уточняем требуемое количество уголков. Оно равно

$$\frac{68,8}{5} = 13,8; \text{ принимаем } 14.$$

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-

обходимости к контуру присоединяются дополнительные заземлители.

Приведенный выше расчет выполнен исходя из того, что поблизости нет естественных заземлителей ($R_{ест}$). 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

$$R_{иск} = \frac{R_k R_{ест}}{R_{ест} - R_k} = \frac{4 \cdot 5}{5 - 4} = 20 \text{ ом.}$$

Дальнейший расчет производится так же, как указано выше.

13. 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, целостность 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., § 858].

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

Осмотр наружной части заземляющей проводки, проверка надежности присоединения к ней оборудования и состояния пробивных предохранителей¹ 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 лет². 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 мм². Наконечники следует напаивать твердым припоем или наваривать.

¹ 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.

² При применении искусственной обработки грунта для уменьшения сопротивления заземлителей солью или другими веществами этот срок следует сократить примерно до 2 лет.

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, электролопаты 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 мм²), 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.

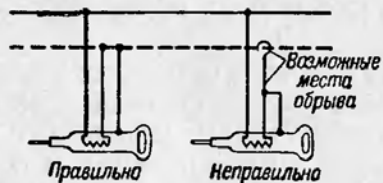


Рис. 20. Заземление переносного электроинструмента.

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

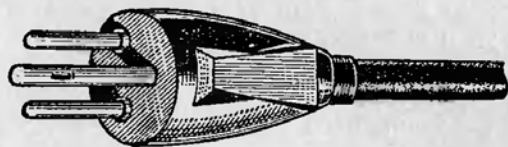


Рис. 21. Штепсельная вилка с заземляющим контактом.

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.

В помещениях жилых домов и общественных зданиях,

где полы изготовляются из дерева и других материалов, являющихся хорошей изоляцией, заземление переносного электрооборудования не требуется.

14. 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

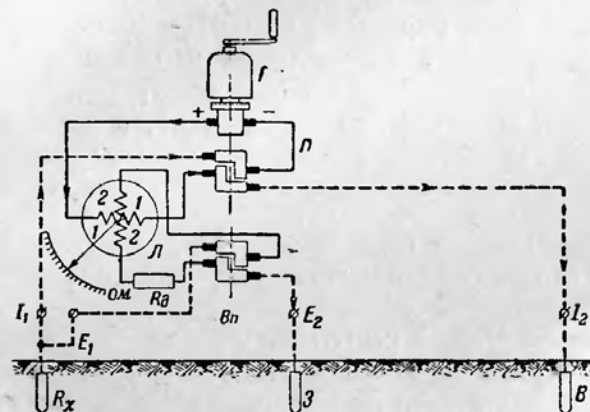


Рис. 22. Принципиальная схема измерителя заземлений завода «Энергоприбор». I_1, E_1, I_2, E_2 — обозначения зажимов прибора.

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 U/I), а шкала прибора градуирована в омах. Источником питания при измерении служит генератор G постоянного тока, приводимый во вращение от руки. На общей оси с генератором укреплены прерыватель P и выпрямитель B_n .

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

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 $I-I$, вспомогательный заземлитель, испытываемый заземлитель, прерыватель и генератор. Рамка $I-I$ получает постоянный ток от генератора, затем прерыватель Π преобразует ток в переменный, который поступает в землю через вспомогательный заземлитель B . В рамку $2-2$, включенную между испытываемым заземлителем и зондом, подается выпрямленное через выпрямитель B_n 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 рамкой $2-2$ включено добавочное сопротивление R_0 , равное 150 000 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 (D) 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. Найфельд М. Р., Защитные заземления в электротехнических установках, Госэнергоиздат, 1959.

„БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА“

Готовятся к печати

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

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

Ильинский Н. В.— Расчет и выбор пусковых сопротивлений для 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 Шулятьева Г. Н.— Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) и способы его повышения на промышленных предприятиях

Ларионов В. П.— Грозозащита сооружений и зданий

Лявшиц Д. С.— Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1000 в

Образцов В. А.— Уход за контактами низковольтных аппаратов

Осколков К. Н.— Электроизмерительные приборы и как ими пользоваться

Ривлин Л. Б.— Как определить неисправность асинхронного электродвигателя

Рябикин Б. П.— Скрытые виды проводок

Славенчинский И. С. и Хромченко Е. 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