

Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

6П2.13
К823

И. В. КРИКУН

Испытания заземляющих устройств



С1315703 ✓

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 226

6П2.13
К823

И. В. КРИКУН

ИСПЫТАНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1967

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Долгов А. Н., Ежков В. В., Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Устинов П. И.

Крикун И. В.

К 82 Испытания заземляющих устройств.

М., «Энергия», 1967.

80 с. с илл. (Б-ка электромонтера. Вып. 226). 15 000 экз.

В брошюре приводятся основные сведения о заземляющих устройствах и явлениях, связанных с прохождением тока в земле, ясное представление о которых необходимо для усвоения методики испытаний. Описываются методы испытаний, применяемая для этого аппаратура, даются указания по ее выбору. Приводятся рекомендации о порядке производства испытаний, оценке и оформлении их результатов. Подробно описаны методы испытаний сети заземления и проверки надежности отключения электроустановки при замыкании на корпус.

Брошюра рассчитана на электромонтеров и мастеров, работающих по монтажу, наладке или эксплуатации электроустановок. Она может быть полезна также техникам-электрикам и учащимся, специализирующимся в области электрооборудования промышленных установок и электросетей.

3-3-10

125-66

6П2.13

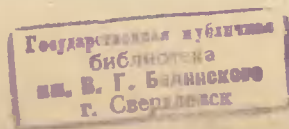
Крикун Израиль Вольфович
Испытания заземляющих устройств

Редакторы А. Е. Гомберг и А. Л. Фаерман
Художественный редактор Д. И. Чернышев
Техн. редактор Г. С. Юдаева
Корректор Е. В. Кузнецова

Сдано в набор 19/VIII 1966 г. Подписано к печати 29/III 1967 г. Т-01846
Формат 84×108^{1/32} Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 4,2 Уч.-изд. л. 4,18
Тираж 15 000 экз. Цена 16 коп. Зак. 1116

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

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета на печати при Совете Министров СССР.
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-6.



3045181:3

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших элементов электроустановки, обеспечивающих надежность ее работы и безопасность персонала, соприкасающегося с электрооборудованием, является заземляющее устройство.

Однако заземляющее устройство может справляться со своими функциями лишь при условии правильного его выполнения и поддержания в надлежащем техническом состоянии, что проверяется путем испытаний.

Испытания заземляющих устройств являются необходимым, а потому и распространенным видом предпусковых и профилактических испытаний, производимых лабораториями энергосистем и промышленных предприятий, пуско-наладочными и другими организациями. В них принимает участие большое количество электромонтеров.

Ввиду изложенного назрела необходимость в руководстве по испытаниям заземляющих устройств, рассчитанном на массового читателя.

Настоящая брошюра преследует цель — ознакомить в доступной форме широкий круг читателей с современными методами испытаний заземляющих устройств и с применяемой для этого аппаратурой, и служить пособием в их практической работе.

Из-за небольшого объема брошюры пришлось ограничиться описанием лишь основных методов и приборов.

Автор надеется, что брошюра будет полезной для электромонтеров, мастеров и техников, занимающихся пусковыми и эксплуатационными испытаниями заземляющих устройств.

Все замечания и пожелания по данной брошюре просьба адресовать в изд-во «Энергия»: Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Автор

I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ И ИХ ИСПЫТАНИЯХ

1. Прохождение тока в земле и заземляющие устройства

Некоторые основные понятия. Заземляющие устройства обладают специфическими свойствами, обусловленными особыми свойствами грунта (земли) как проводника тока. Вследствие этого специфическими являются и методы испытаний. Прежде чем приступить к изложению методов испытаний, рассмотрим явления, связанные с прохождением тока в земле, свойства грунта как проводника тока и свойства заземляющих устройств.

Рассмотрим картину прохождения тока в земле между двумя одиночными стержневыми электродами-заземлителями A и $Г$, соединенными последовательно (рис. 1, a) и расположенными на значительном расстоянии друг от друга, когда к ним приложено напряжение U_{AG} . Земля представляет собой объемный проводник, поэтому ток от заземлителей расходится в ней во всех направлениях как по поверхности земли, так и в глубину.

Вблизи заземлителей плотность тока, сопротивление земли прохождению тока и падение напряжения на единицу длины — наибольшие, по мере удаления от заземлителей (участки AB и $ГB$) они уменьшаются и на расстоянии более 20 м от заземлителей¹ (участок BB) ток находится в таком большом объеме земли, что плотность тока, сопротивление земли и падение напряжения на единицу длины в этой зоне практически равны нулю.

¹ Для сложных заземлителей это расстояние значительно больше.

Таким образом, сопротивление прохождению тока практически оказывает не весь участок земли между электродами A и Γ , а лишь зона земли на участках AB и ΓB . Такая зона называется зоной токов в земле. Все остальное пространство земли, где плотность тока настолько мала, что в ней практически не обнаружи-

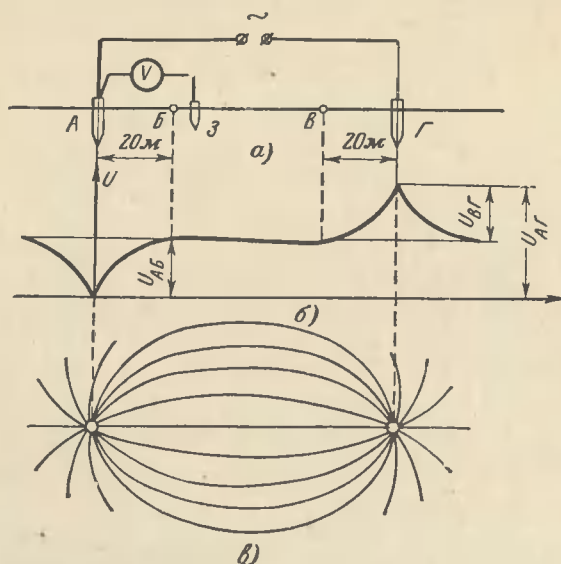


Рис. 1. Прохождение тока в земле между двумя оди-
ночными стержневыми заземлителями.

a — схема включения; $б$ — кривая распределения падения на-
пряжения между заземлителями; $в$ — пути прохождения тока
в земле.

вается падение напряжения, называется зоной нуле-
вого потенциала.

Напряжением относительно земли при замыкании на «корпус» называется напряжение между этим корпу-
сом и точками земли, находящимися вне зоны токов в
земле. Напряжение заземлителя относительно земли
(зоны нулевого потенциала) называют также полным
потенциалом заземлителя.

Сопротивлением заземляющего устройства называ-
ется сумма сопротивлений, слагающаяся из сопротивле-
ния заземлителей относительно земли и сопротивления
заземляющих проводников.

Сопротивление заземлителя относительно земли¹ определяется как отношение напряжения на заземлителе относительно земли к току, проходящему через заземлитель в землю:

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3}, \text{ ом}, \quad (1)$$

где U_3 — напряжение заземлителя, в;
 I_3 — ток, проходящий через заземлитель в землю, а.

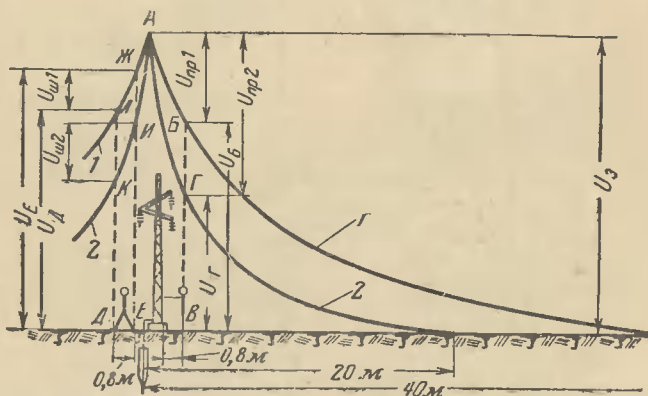


Рис. 2. Влияние формы кривой распределения потенциалов на поверхности земли на величины напряжений прикосновения и шага.

Напряжение прикосновения и напряжение шага. На рис. 2 показана опора линии, присоединенная к заземлителю, сопротивление которого равно R_3 .

При повреждении или перекрытии изоляторов, касании провода к опоре линии и т. д. через опору, заземляющий проводник и заземлитель в землю пройдет аварийный ток $I_{3.ав}$. Пусть характер распределения потенциалов на поверхности земли вокруг заземлителя, обусловленный прохождением тока $I_{3.ав}$, определяется потенциальной кривой 1. Пренебрегая сопротивлением опоры и заземляющего проводника, напряже-

¹ В дальнейшем для краткости оно называется сопротивлением заземлителя. Это не следует смешивать с сопротивлением заземлителя как проводника тока.

ние опоры относительно земли можно принять равным напряжению заземлителя U_3 , определяемому по (2):

$$U_3 = I_{3.ав} R_3, \text{ в.} \quad (2)$$

Потенциал точки B земли, где стоит человек, равен U_B (ордината $BВ$). Если человек коснется рукой опоры, он окажется под напряжением

$$U_{пр1} = U_3 - U_B = I_{3.ав} R_3 - U_B, \text{ в,} \quad (3)$$

называемым *напряжением прикосновения*.

Допустим, что напряжение заземлителя относительно земли осталось равным U_3 , человек стоит в той же точке B , но потенциальная кривая 2 имеет более крутой вид. В этом случае потенциал точки B земли U_1 определяется ординатой $ГВ$. Напряжение прикосновения $U_{пр2} = U_3 - U_1 > U_{пр1}$. Следовательно, величина напряжения прикосновения зависит от характера потенциальной кривой. Для безопасности людей имеет значение напряжение прикосновения, а не напряжение относительно земли. Поэтому для обеспечения безопасности необходимо добиваться получения возможно более пологой потенциальной кривой (выравнивание потенциалов). Это достигается устройством сложных заземлителей.

Напряжение прикосновения зависит не только от величины тока замыкания на землю, сопротивления заземляющего устройства, крутизны потенциальной кривой, но и от расстояния между двумя точками цепи замыкания, к которым может одновременно прикоснуться человек (принимается равным 0,8 м).

Если вблизи заземленного элемента электроустановки находится протяженный проводник (кабель, трубопровод, рельсы и т. п.), изолированный на всем протяжении, но имеющий связь с зоной нулевого потенциала, то через него происходит «занос» нулевого потенциала, и напряжение прикосновения между ним и заземленным элементом может оказаться максимальным. С другой стороны, если протяженные предметы соединены с заземляющим устройством и выходят за пределы электроустановки, через них может произойти «вынос» потенциала, опасного для людей и животных.

Так как различные точки поверхности земли при прохождении через нее аварийного тока имеют различные потенциалы, то человек, идущий по земле вблизи зазем-

лителя, может оказаться под напряжением. Это напряжение называется напряжением шага.

На рис. 2 показан человек, идущий по земле и касающийся точек D и E , потенциалы которых U_D и U_E определяются соответственно ординатами $ЛД$ и $ЖЕ$. Человек попадает под напряжение шага:

$$U_{ш1} = U_E - U_D, \text{ в.} \quad (4)$$

При увеличении крутизны потенциальной кривой 2 напряжение шага $U_{ш2}$, определяемое разностью ординат $ИЕ$ и $КД$, также возрастает: $U_{ш2} > U_{ш1}$.

Величина напряжения шага зависит от величины тока замыкания на землю, крутизны потенциальной кривой, сопротивления заземляющего устройства, положения человека относительно заземлителя и от длины шага (принимается также 0,8 м).

Выравнивание потенциальной кривой обеспечивает также уменьшение напряжения шага.

Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) [Л.1] величина напряжения прикосновения и шага не нормируется и измерение ее при приемо-сдаточных испытаниях не требуется.

Безопасность обслуживания электроустановок обеспечивается выполнением требований и соблюдением норм ПУЭ.

Свойства грунта как проводника тока. Свойства грунта как проводника тока характеризуются величиной его удельного сопротивления ρ , под которым понимается сопротивление кубика грунта с ребрами в 1 см. Эта величина определяется из выражения

$$\rho = \frac{RF}{l}, \frac{\text{ом} \cdot \text{см}^2}{\text{см}}, \text{ или } \text{ом} \cdot \text{см}, \quad (5)$$

где R — сопротивление, ом, некоторого объема грунта сечением F , см^2 , длиной l , см.

Величина ρ зависит от характера грунта, его температуры, влажности, содержания солей, кислот, щелочей. Увеличение содержания растворенных веществ в грунте, общей влажности, уплотнение его частиц, повышение температуры приводят к уменьшению ρ . Пропитывание грунта маслами и нефтью и промерзание приводят к резкому увеличению ρ . Удельное сопротивление плохопроводящих грунтов может быть искусственно уменьшено

путем обработки их солью, содой, графитом, уплотнением грунта и т. д.

При промерзании грунта в зимнее время и высыхании летом величина ρ и зависящее от нее сопротивление заземлителей заметно возрастают. Особенно это проявляется у протяженных заземлителей (полосы, оболочки кабелей и т. д.), расположенных вблизи поверхности земли, где бывают значительные колебания температуры и влажности.

Грунт неоднороден, он состоит из слоев, обладающих различным ρ и оказывающих влияние на сопротивление заземлителей. Аналитический расчет всех факторов, влияющих на величину ρ , затруднен. Поэтому с целью получения достоверных данных для проектирования заземляющего устройства, на месте сооружения заземлителя предварительно измеряют так называемое «действующее» (ρ_d) или «кажущееся» (ρ_k) удельное сопротивление грунта, учитывающее неоднородность его строения. Наивыгоднейшие параметры заземлителей (конструкция, размеры, глубина заложения и др.) можно проектировать, зная характер распределения ρ по глубине поверхностных слоев земли.

Наиболее прогрессивным методом определений ρ_k и его распределения по глубине является метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), описанный в § 12 [Л. 17].

2. Защитное действие заземляющих устройств

Выравнивание потенциалов. Из § 1 следует, что для уменьшения напряжения прикосновения и шага необходимо, чтобы потенциальная кривая была как можно более пологой, т. е. необходимо выравнивать потенциалы, возникающие на поверхности земли вблизи заземлителей при замыкании на землю. Выравнивание потенциалов лучше всего обеспечивается устройством сложных заземлителей в виде замкнутого контура, охватывающего всю территорию защищаемой электроустановки.

Сложный заземлитель состоит из простых заземлителей — вертикальных стержней и горизонтальных полос, соединенных между собой. Рассмотрим два важных свойства сложных заземлителей: экранирование электродов и выравнивание потенциалов.

Если бы электроды сложного заземлителя были расположены на значительном расстоянии друг от друга, ток от каждого электрода свободно проходил бы в земле и

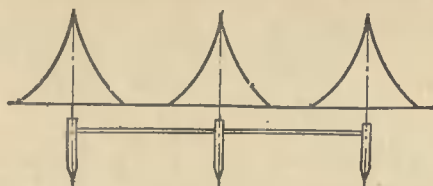
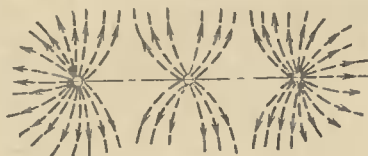
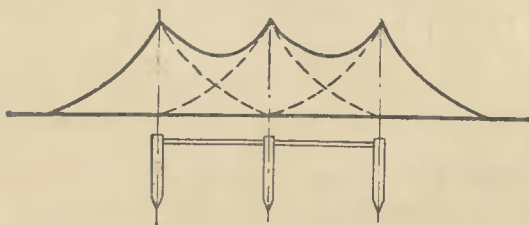


Рис. 3. Кривая распределения потенциалов для сложного заземлителя при большом расстоянии между электродами



а)



б)

Рис. 4. Прохождение тока в земле и распределение потенциалов для сложного заземлителя при малом расстоянии между электродами.

а — пути прохождения тока в земле; б — кривая распределения потенциалов.

кривые распределение потенциалов на поверхности земли вокруг заземлителей были бы такими, как на рис. 3. Проводимость сложного заземлителя в этом случае равнялась бы сумме проводимостей одиночных заземлителей.

В целях экономичности и для лучшего выравнивания потенциалов электроды располагают значительно ближе друг к другу, при этом ток от каждого электрода проходит в более ограниченном объеме земли, как показано на рис. 4, а. В результате этого возрастает сопротивление каждого электрода и всего сложного заземлителя. Такое влияние электродов друг на друга называется взаимным экранированием.

В результате экранирования действительное сопротивление сложного заземлителя R_c оказывается больше эквивалентного сопротивления параллельно включенных электродов $R_э$. При этом электроды сложного заземлителя используются не полностью. При расчете заземлителей экранирование учитывается коэффициентом использования сложного заземлителя η

$$\eta = \frac{R_э}{R_c}. \quad (6)$$

Из сказанного ясно, что величина η меньше единицы.

Распределение потенциалов на поверхности земли вблизи сложного заземлителя при малом расстоянии между электродами показано на рис. 4, б. Здесь пунктирными линиями показаны кривые распределения потенциалов, которые имели бы место вокруг каждого электрода, если бы он находился отдельно от других. В действительности же все электроды соединены параллельно и работают одновременно, в результате чего характер распределения потенциалов в пределах сложного заземлителя определяется результирующей кривой, обозначенной сплошной линией. Из этой кривой видно, что потенциалы отдельных точек земли в пределах заземлителя выше, чем они были бы для каждого электрода в отдельности и величина этих потенциалов не снижается до нуля. Повышение потенциалов в пределах сложного заземлителя делает потенциальную кривую более пологой, приближает потенциалы точек поверхности земли к потенциалу заземлителя и этим уменьшает напряжение прикосновения и шага.

Выравнивание потенциалов обеспечивается выполнением заземлителей в виде замкнутого контура, охватывающего территорию защищаемой электроустановки, использованием естественных заземлителей — трубопроводов, металлоконструкций, оболочек кабелей и т. п., а также за счет связи заземляющих устройств со станоч-

ным оборудованием и другими металлическими предметами.

Внутри замкнутых контуров, охватывающих значительные площади открытых подстанций, для выравнивания потенциалов прокладывают дополнительные стальные полосы и связывают их с другими элементами заземлителя.

Защитное действие заземляющих устройств в электроустановках сетей различных систем. Следует заметить, что чем меньше времени воздействия тока на организм человека, тем при прочих равных условиях больший ток оказывается безопасным. Поэтому в электроустановках, имеющих быстродействующую защиту, можно допустить большие значения напряжения прикосновения и шага.

Защитное действие заземляющих устройств может быть различным в зависимости от характера сети, к которой присоединена электроустановка. Это обстоятельство обуславливает метод испытаний и программу работ. Поэтому рассмотрим защитное действие заземляющих устройств применительно к различным типам электроустановок.

Электроустановки до 1000 в с изолированной нейтралью. В этих электроустановках токи однофазного замыкания не превышают 10 а. Поэтому здесь можно снизить напряжение $U_{пр}$ и $U_{ш}$ до безопасной величины.

Если суммарная мощность трансформаторов или генераторов, непосредственно питающих данную установку, равна или меньше 100 ква, ПУЭ допускают, чтобы сопротивление заземления для таких установок было не более 10 ом. Если же суммарная мощность трансформаторов или генераторов, непосредственно питающих электроустановку превышает 100 ква, то сопротивление заземления не должно превышать 4 ом. Заземление дополняется также устройством выравнивания потенциалов.

Следовательно, защитное действие заземляющих устройств в электроустановках до 1000 в с изолированной нейтралью заключается в снижении $U_{пр}$ и $U_{ш}$ до безопасной величины благодаря малым значениям сопротивления заземляющего устройства.

Электроустановки до 1000 в с глухим заземлением нейтрали. В электроустановках этого типа корпуса электрооборудования присоединяются к нулевому проводу, соединенному с заземленной нейтралью обмотки

трансформатора или генератора¹. При замыкании какой-либо фазы на корпус образуется цепь короткого замыкания: фаза трансформатора — фазный провод — нулевой провод, называемая петлей фаза-нуль. По этой цепи проходит ток короткого замыкания, под действием которого ближайшей защитой отключается электроприемник.

Таким образом, защитное действие заземления в электроустановках напряжением до 1000 в с глухим заземлением нейтрали при замыкании на корпус заключается в следующем:

а) обеспечивается автоматическое быстрое отключение поврежденного участка, в результате чего снижается вероятность касания человеком корпусов оборудования в момент замыкания и ограничивается время воздействия тока на человека;

б) напряжение проводов относительно земли не может превышать фазного напряжения сети;

в) присоединение к нулевому проводу большого количества оборудования, металлоконструкций и т. п. способствует выравниванию потенциалов, что в свою очередь снижает напряжение прикосновения.

Электроустановки выше 1000 в с большими токами замыкания на землю. К ним относятся в основном электроустановки 110 кВ и выше с наличием в сети нейтралей, заземленных наглухо или через малое сопротивление. Однофазный ток замыкания на землю в этих электроустановках более 500 а. При замыкании на землю релейная защита отключает установку, поэтому аварийный режим здесь кратковременный.

В соответствии с требованием ПУЭ (1965 г.) сопротивление заземляющего устройства в таких установках в любое время года не должно превышать 0,5 ом. Напряжение заземляющего устройства относительно земли здесь может достигать значительных величин, что видно из следующего примера.

При однофазном токе замыкания на землю $I_3 = 3000$ а напряжение относительно земли $U_3 = 3000 \cdot 0,5 = 1500$ в.

Из этого следует, что достичь малых значений напряжений прикосновения только путем снижения сопротивления заземляющего устройства не представляется возможным. Поэтому снижение сопротивления заземляю-

¹ Раньше такая система называлась занулением,

щего устройства в таких электроустановках обязательно должно дополняться выравниванием потенциалов.

Итак, защитное действие заземления в электроустановках выше 1000 в с большими токами замыкания на землю заключается в следующем:

а) автоматическое быстрое отключение замыкания на землю или на корпус;

б) снижение напряжения прикосновения и шага путем выравнивания потенциалов, осуществляемого устройством замкнутых контуров заземлителей, рациональным размещением их элементов и рядом других мер.

Электроустановки выше 1000 в с малыми токами замыкания на землю. К ним относятся электроустановки, ток однофазного замыкания на землю которых равен или менее 500 а.

Защитное действие заземления здесь аналогично электроустановкам до 1000 в с изолированной нейтралью.

Однако токи однополюсного замыкания достигают здесь значительно больших величин и для различных сетей могут колебаться в больших пределах. Поэтому ПУЭ не дают какую-либо заранее установленную норму для сопротивления заземляющего устройства R , а указывают, что при прохождении расчетного тока замыкания на землю в любое время года оно должно быть:

$$R \leq \frac{U}{I_3}, \text{ ом,}$$

где U принимается равным 250 в, если заземляющее устройство используется только для электроустановок выше 1000 в, и 125 в, если оно используется одновременно для электроустановок до и выше 1000 в;

I_3 — расчетный ток однополюсного замыкания на землю, а.

В некоторых случаях — при наличии особо тяжелых условий эксплуатации и связанной с этим опасностью для людей, при возможности повреждения дорогостоящих агрегатов, в сетях передвижных установок и т. д. — защитное действие заземления дополняется автоматическим отключением поврежденного участка защитой.

3. Основные сведения об испытаниях

Назначение испытаний. Надежность работы заземляющего устройства зависит от правильности его выполнения. Между тем расчет заземляющих устройств ведется весьма приближенно, в результате чего величины, указываемые в проектах, часто расходятся с фактическими. При выполнении монтажных работ иногда делаются отклонения от проекта, ухудшающие качество заземляющего устройства.

Поэтому перед вводом в эксплуатацию вновь смонтированного заземляющего устройства необходимо тщательно проверить его соответствие требованиям действующих правил и данным проекта.

В процессе эксплуатации в результате коррозии и под действием токов замыкания на землю заземлители приходят в негодность. Под действием грозовых разрядов и токов замыкания на землю грунт вблизи заземлителей высыхает, в результате чего увеличивается сопротивление грунта и заземляющего устройства. Постепенно разрушается заземляющая проводка, изменяется ее схема.

Следовательно, в процессе эксплуатации заземляющего устройства необходимо периодически контролировать его техническое состояние.

Контроль состояния заземляющего устройства осуществляется путем его всесторонних испытаний.

Испытания заземляющего устройства — это комплексная работа, включающая внешний осмотр наружной и подземной его частей, измерение сопротивления отдельных элементов и др.

Объем и программа испытаний определяются режимом сети, к которой присоединена защищаемая электроустановка, и назначением заземляющего устройства. Испытания должны производиться в полном объеме и по правильно выбранной методике, в противном случае можно прийти к ошибочным выводам.

В подтверждение этого приведем следующий случай.

Заземляющее устройство объекта, присоединенного к четырехпроводной сети 380/220 в с глухозаземленной нейтралью (рис. 5), где электрооборудование объекта условно изображено в виде двигателя Д, испытывалось по следующей программе: измерялось сопротивление заземлителя вблизи объекта и проверялось наличие металлической связи корпусов электрооборудования с этим

заземлителем. Сопротивление заземлителя R оказалось равным $3,8 \text{ ом}$, а металлическая связь всех корпусов электрооборудования с испытанным заземлителем — надежной.

На основании этих недостаточных испытаний было сделано заключение о пригодности заземляющего устройства к эксплуатации. Спустя небольшое время после испытаний при прикосновении к корпусу оборудования был поражен ток человек.

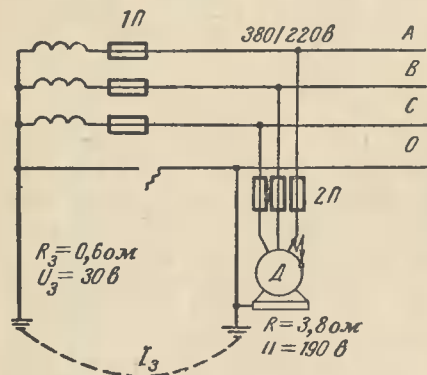


Рис. 5. Распределение фазного напряжения между заземлителями при однофазном замыкании на корпус в случае обрыва нулевого провода.

Произведенные обследования и контрольные испытания показали, что нулевой провод между объектом и подстанцией был оборван.

Сопротивление заземлителя подстанции, к которому подключена нейтраль трансформатора, R_3 равно $0,6 \text{ ом}$.

На корпусе испытуемого оборудования оказалось напряжение около 190 в относительно земли.

При повреждении изоляции фазное напряжение 220 в распределялось по сопротивлениям $R_3 + R$. При этом падение напряжения на заземлителе объекта R

$$U = \frac{220}{0,6 + 3,8} \cdot 3,8 = 190 \text{ в},$$

а на заземлителе подстанции R_3

$$U_3 = \frac{220}{0,6 + 3,8} \cdot 0,6 = 30 \text{ в}.$$

Согласно ПУЭ в электроустановках до 1000 в с глухозаземленной нейтралью необходимо измерять полное сопротивление петли фаза-нуль; при этом условии был бы обнаружен обрыв нулевого провода и проверена надежность отключения поврежденного участка сети.

Таким образом, несмотря на то, что в данном случае сопротивление заземления не превышало допустимого,

неполный объем испытаний привел к неправильному заключению и в результате этого к несчастному случаю.

Объем и программа испытаний. Из приведенного примера следует, что, приступая к испытаниям, необходимо иметь ясное представление о характере сети, к которой присоединено заземляемое оборудование, о назначении заземляющего устройства и принципе его действия, и на основании этого правильно выбрать методику и определить объем испытаний.

Ниже приводится программа испытаний заземляющих устройств, учитывающая особенности электроустановок в соответствии с требованиями ПУЭ.

1. Ознакомление с проектной и исполнительной технической документацией электроустановки и заземляющего устройства.

2. Измерение сопротивления заземляющих устройств.

3. Проверка состояния всех элементов заземляющего устройства.

4. Проверка наличия цепи между заземлителями и заземляемыми элементами.

5. Проверка состояния пробивных предохранителей (только в установках до 1000 в с изолированной нейтралью).

6. Проверка полного сопротивления петли фаза-ноль для наиболее удаленных, а также наиболее мощных электроприемников, но не менее 10% их общего количества (только в электроустановках до 1000 в с глухим заземлением нейтрали).

7. Анализ результатов испытаний и составление отчетной технической документации: протоколов испытаний и обследований, пояснительной записки, исполнительных схем, различных таблиц и т. д.

Пункты 1, 2, 3, 4, 7 относятся ко всем электроустановкам, пункты 5, 6 — только к указанным в них электроустановкам.

В распоряжении испытателей должна быть следующая проектная и техническая документация:

1. Принципиальная схема электроустановки.

2. Расчетные данные заземляющего устройства: величины сопротивлений заземлителей, величина тока однофазного замыкания на землю и т. д.

3. Исполнительная схема или план сети заземления с указанием материала и размеров заземляющих проводников.

4. Акты на скрытые работы по монтажу элементов заземляющего устройства, недоступных осмотру (заземлители, скрытая часть наружной проводки).

5. Исполнительная схема силовой сети с обозначением мощностей и токов электроприемников, расчетных величин плавких вставок предохранителей или уставок автоматов (только для сетей до 1 000 в с глухим заземлением нейтрали).

6. Данные о расположении подземных коммуникаций (трубопроводов, кабелей и т. п.), необходимые для определения места забивки вспомогательных электродов для измерений.

7. Технический отчет по предыдущим испытаниям и паспорт заземляющего устройства (в случае повторных испытаний в действующих электроустановках).

В необходимых случаях, например для исследовательских или проектных целей, программа испытаний может быть расширена: измеряется удельное сопротивление грунта, проверяется наличие выноса потенциала за территорию электроустановки и характер его распределения или заноса нулевого потенциала на ее территорию.

Измерение сопротивления заземлителей следует производить после монтажа электроустановок, до ввода их в эксплуатацию. Если результаты измерений независимо от погодных условий, при которых они производились, соответствуют нормам для конкретной электроустановки, то эта электроустановка может быть введена в эксплуатацию.

В течение первого года эксплуатации электроустановки в периоды наименьшей проводимости грунта (зимой, при наибольшем промерзании, или летом, в период наибольшего высыхания грунта) производятся повторные измерения сопротивления заземлителей. В период эксплуатации эти измерения должны повторяться в наиболее неблагоприятное время года: для электроустановок, к которым имеет доступ только электротехнический персонал, — не реже 1 раза в 3 года; для цеховых электроустановок — не реже 1 раза в год [Л. 2]; в благоприятное время года должны повторяться. Результаты этих эксплуатационных измерений также должны соответствовать нормам.

Нормы на заземление электроустановок, ом:

Электроустановки до 1 000 в с изолированной и глухозаземленной нейтралью

То же, но при суммарной мощности питающих генераторов или трансформаторов, не более 100 кВа	10
Электроустановки выше 1000 в с малыми токами замыкания на землю ($I_3 \leq 500$ а)	$\leq \frac{250}{I_3}$
То же, но заземляющее устройство используется одновременно и для установок до 1000 в	$\leq \frac{125}{I_3}$
Электроустановки более 1000 в с большими токами замыкания на землю ($I_3 > 500$ а)	0,5
Заземления опор линий выше 1000 в при:	
р до $1 \cdot 10^4$ ом·см	10
» более $1 \cdot 10^4$ 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
Заземление металлических и железобетонных опор линий до 1000 в:	
с изолированной нейтралью	50
с заземляемым нулевым проводом (металлические опоры и арматуру железобетонных опор соединяют с заземленным нулевым проводом)	—

II. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

4. Условия измерения и электроды

Измерение сопротивления заземляющего устройства производится для определения его фактической величины и сравнения с нормами. Кроме того, сопоставление результатов измерений за ряд лет в сочетании с выборочным устройством шурфов позволяет следить за состоянием заземлителей, находящихся в эксплуатации.

Сопротивление заземлителя должно измеряться на всех его выводах в местах их присоединения к заземляющей сети.

Если в заземляющее устройство входит сложный заземлитель, состоящий из искусственного заземлителя и присоединенных к нему естественных заземлителей (например, трубопроводы, оболочки кабелей и т.д.), желательно измерять отдельно сопротивление искусственного заземлителя, а затем всего сложного заземлителя в целом; при этом с нормой сопоставляется измеренное сопротивление всего сложного заземлителя. В протоко-

ле испытания должны быть перечислены все присоединенные естественные заземлители, а на планах заземляющего устройства — четко указаны места их присоединения. Это необходимо для того, чтобы эксплуатационный персонал мог следить за целостью заземляющего устройства в период эксплуатации и в особенности за восстановлением схемы заземляющего устройства после окончания ремонтных работ.

Не следует пытаться отделять каркасы зданий или крупных сооружений, используемых в качестве основного заземлителя, от всех вспомогательных заземлителей (например, от труб водопровода, канализации корпусов оборудования и др.), так как этих связей бывает довольно много и их отделение практически неосуществимо.

При измерении сопротивления заземления опор линий электропередачи, соединенных между собой тросом, последний должен быть отсоединен и измерение произведено для каждого заземлителя в отдельности (ПУЭ II-5-87). Указанное объясняется тем, что при совместном измерении получается эквивалентное сопротивление всех соединенных вместе заземлителей, а при большом их количестве резкое повышение сопротивления одного из них или даже отключение его не дает заметного изменения эквивалентного сопротивления всей системы и судить о состоянии какого-либо заземлителя не представляется возможным.

В крупных цехах или других объектах оборудование, подлежащее заземлению, обычно не подсоединяется непосредственно к заземлителю. Вместо этого по цеху прокладывается магистраль заземления, которая выполняется чаще всего сварной. К этой магистрали подключается заземлитель (не менее чем в двух точках) и корпуса электрооборудования, подлежащие заземлению. Целость и качество выполнения сварок на магистрали заземления проверяется осмотром, простукиванием мест сварок; кроме того, измеряется сопротивление связи различных участков магистрали между собой и с заземлителем. В дальнейшем от этих контрольных участков можно проверить качество электрической связи заземленного оборудования с заземляющим устройством. Такой порядок измерений позволяет применять более короткие провода для производства измерений.

При небольших расстояниях измерение можно произ-

водить непосредственно на корпусах оборудования. Чтобы измерить сопротивление заземлителя по любому методу (см. рис. 7, 9, 10), необходимо создать цепь тока через землю и произвести соответствующие измерения.

Для этого, кроме испытываемого заземлителя, необходимы еще два электрода: один для создания цепи тока, так называемый вспомогательный заземлитель, другой, называемый зондом, — для присоединения вольтметра или другого прибора цепи напряжения к определенной точке земли для определения потенциала этой точки или разности потенциалов между двумя точками земли.

Точность измерения сопротивления заземлителей зависит от правильного взаимного расположения испытываемого заземлителя и вспомогательных электродов и от расстояний между ними, особенно для сложных заземлителей. Рекомендованные ранее минимальное расстояние между испытываемым и вспомогательным заземлителями $5D$ (где D — большая диагональ контура) и расстояние между вспомогательным заземлителем и зондом (более 40 м) могут привести к большим погрешностям измерения, достигающим согласно последним исследованиям сотен процентов [Л. 15, 16]. В результате этих исследований сформулированы новые рекомендации.

Для получения результатов измерений с погрешностью, не превышающей $\pm 10\%$ (что соответствует точности применяемых приборов), вспомогательный заземлитель может располагаться и ближе чем $5D$, но расстояние до зонда должно зависеть от расстояния между измеряемым и вспомогательным заземлителями.

Зону нулевого потенциала у реальных заземлителей трудно определить расчетом, так как она зависит от неоднородности грунта, от влияния протяженных естественных заземлителей и даже от протяженных неизолированных проводников, проложенных в земле, в зоне измерений (кабели, металлические трубы и т. п.).

Рекомендованные в [Л. 15, 16] взаимное расположение испытываемого заземлителя и измерительных электродов и минимальные расстояния между ними приведены на рис. 6 (табл. 1).

В качестве вспомогательного заземлителя и зонда должны применяться стальные электроды (стержни) диаметром 12—16 мм длиной 800—1 000 мм. Один ко-

Таблица 1

Тип заземлителя		Расположение измерительных электродов (рис. 6)	Минимальные расстояния
Сложный (контурный) заземлитель	Двухлучевая схема	<i>a</i>	$80 \text{ м} \leq (r_{xB} = r_{x3} = 2r_{B3}) \geq 2D$
	Однолучевая схема	<i>б</i>	$160 \text{ м} \leq (2r_{x3} = r_{xB}) \geq 3D$
Лучевой заземлитель		<i>в</i>	$(r_{0B} = r_{03} = 2r_{B3}) \geq \frac{l}{2}$
Сосредоточенный заземлитель		<i>г</i>	$r_{xB} = r_{x3} = r_{B3} \geq 20 \text{ м}$

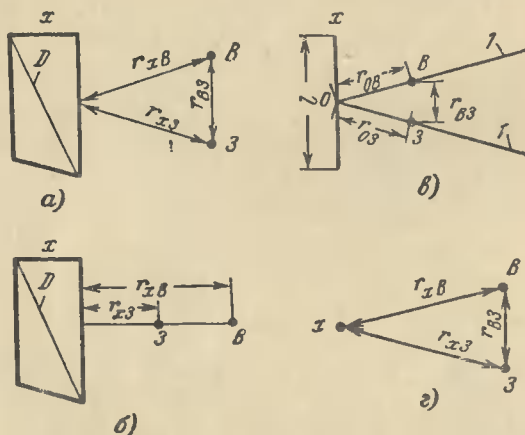


Рис. 6. Взаимное расположение испытуемого заземлителя и измерительных электродов и минимальные расстояния между ними, обеспечивающие точные измерения.

D — большая диагональ контурного заземлителя; *x* — испытуемый заземлитель; *B* — вспомогательный заземлитель; *З* — зонд; *r* — расстояние; *l* — линия точных измерений.

нец электрода делается заостренным, вблизи второго конца приваривается поперечный стальной прут для вытягивания электрода из земли и контактный барашек для присоединения проводника. Электроды не должны

быть окрашены; коррозия существенного значения не имеет.

Электроды следует забивать в плотный естественный (не насыпной) грунт на глубину не менее 0,5 м. Забивать электроды следует прямыми ударами в осевом направлении, не раскачивая их, во избежание ухудшения контакта с землей. В грунтах с большим удельным сопротивлением места, где забиваются электроды, увлажняют обычно водой, раствором соли, кислоты или уплотняют.

В качестве электродов для измерения могут быть использованы отрезки металлических труб, рельсов и другие металлические предметы, находящиеся в земле и не связанные с испытуемым заземлителем, в том числе действующие заземлители (например, заземлители опор воздушных линий и т. п.).

Прибор для измерения сопротивления заземляющих устройств должен быть укомплектован гибкими одножильными проводами с хорошей изоляцией, например марок ПРГ или ПВГ. Длина проводников должна быть больше указанных выше минимальных расстояний между заземлителями. Эти провода не должны использоваться для других целей. На концах проводов должны быть напаяны наконечники, соответствующие зажимам приборов и электродов. Прокладка проводов при измерении производится непосредственно по земле. Соображения по выбору сечений проводников даются при описании методов измерений.

Влияние посторонних токов в земле. В земле, в районе измерений, могут протекать посторонние токи. К ним относятся так называемые блуждающие токи и токи, обусловленные режимом работы электроустановок. Блуждающие токи могут быть постоянными и переменными. Они являются результатом геофизических явлений или неисправностей в электроустановках, результатом сварочных работ, работы сетей электрического транспорта и др. К токам, обусловленным режимом работы электроустановок, относятся токи, возникающие в результате асимметричного расположения проводов линий электропередачи по отношению к земле, токи, вызываемые неравномерностью нагрузки фаз, и токи высших гармоник.

Посторонние токи вызывают падение напряжения в земле независимо от наличия измерительного тока и ис-

кажают результаты измерений, а иногда делают измерение невозможным. Поэтому перед измерением необходимо выяснить наличие посторонних токов в земле и источники этих токов. При обнаружении постороннего тока в земле необходимо принять меры к устранению или хотя бы ограничению влияния этих токов на результат измерения. Указания об этом даются ниже при рассмотрении методов измерений.

О методах измерений. Существует много методов измерения сопротивления заземляющих устройств [Л. 8], некоторые из них устарели и не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям.

Ниже описываются измерения по методу амперметра-вольтметра и при помощи измерителя заземления. Сочетание этих двух методов позволяет выполнять все встречающиеся в практике измерения достаточно быстро и с необходимой степенью точности.

Для измерения сопротивления заземляющих устройств должен применяться переменный ток, так как при постоянном токе в земле возникают э. д. с. поляризации, искажающие результат измерения. Величина тока не оказывает существенного влияния на результат измерения; однако, при слишком малой его величине сказывается влияние посторонних токов в земле. Поэтому при измерении по методу амперметра-вольтметра следует избегать применения малых токов. Частота тока также не оказывает заметного влияния на результат измерения, так как сопротивление заземлителя в основном активное.

При измерении желательно применять как можно меньшее напряжение, исходя из условий техники безопасности. В противном случае возможно появление опасных для людей и животных потенциалов, особенно в районе вспомогательного заземлителя, сопротивление которого значительно больше, чем испытуемого.

Пример. При применении для измерения напряжения 380 в, сопротивлении испытуемого заземлителя $R_x=1$ ом и вспомогательного заземлителя $R_v=30$ ом (одна труба) падение напряжения на испытуемом заземлителе равно:

$$\frac{380 \cdot 1}{30 + 1} \approx 12 \text{ в},$$

а на вспомогательном заземлителе

$$\frac{380 \cdot 30}{30 + 1} \approx 368 \text{ в}.$$

Если применить более низкое напряжение невозможно, необходимо оградить район вокруг вспомогательного заземлителя, выставить охрану и принять дополнительные меры, исключающие возможность появления в этом районе людей и животных.

Питание схемы измерения непосредственно от сети недопустимо, так как сети в местах с ослабленной изоля-

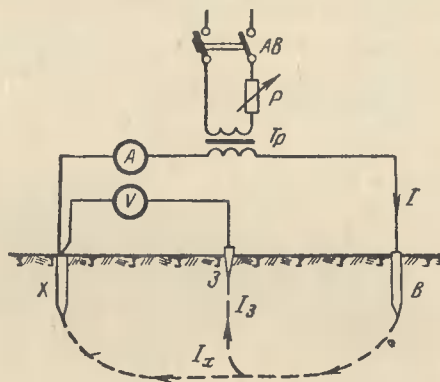


Рис. 7. Схема измерения сопротивления заземляющих устройств по методу амперметра-вольтметра.

цией имеют дополнительные соединения с землей, что может отразиться на результатах измерения. Большинство сетей вообще имеет глухозаземленную нейтраль, которая также будет участвовать в измерении, искажая результат. По этой причине для питания этих схем следует применять понизительные трансформаторы, которые, кроме своего основного назначения, — отделить схему от сети — понижают напряжение до безопасной величины. Практически для этой цели пригодны котельные, нагрузочные, сварочные и другие трансформаторы. Эти трансформаторы должны постоянно использоваться для испытания заземлений и во время этих испытаний не должны питать других цепей. Автотрансформаторы для этих целей не пригодны, так как через них испытуемые цепи связываются с сетью.

Следует, однако, отметить, что в большинстве случаев (особенно при измерении сопротивления заземления

мощных объектов) применять безопасное напряжение не удастся, так как при этом на испытуемом заземлителе получается слишком малое напряжение, соизмеримое с напряжением, создаваемым на нем блуждающими токами. В этих случаях приходится применять напряжение 220 или 380 в и соблюдать меры безопасности.

Регулировочных устройств обычно для таких измерений не требуется. Если нужно ограничить ток, то для этого могут применяться проволочные реостаты, регулировочные автотрансформаторы, дроссели и др. Регулировочные устройства лучше включать с высокой стороны понизительного трансформатора Tp (рис. 7).

5. Метод амперметра-вольтметра

Требования к измерениям. Этот метод позволяет измерять практически любые величины сопротивлений заземляющих устройств с достаточной степенью точности. Он является единственно приемлемым методом для точного измерения сопротивлений заземлителей наиболее ответственных объектов — мощных станций и районных подстанций с сопротивлением заземления порядка десятых и сотых долей ома.

Сущность метода состоит в следующем. Собирается схема (рис. 7) и измеряется ток I_x , проходящий через заземлитель, и напряжение U_x между заземлителем и зондом. Измеренное сопротивление определяется согласно закону Ома как частное от деления измеренного напряжения на ток по (7).

Несмотря на простоту метода, достичь необходимой точности измерений можно лишь при выполнении ряда требований. При этом должны быть учтены условия, приведенные в § 4, а также следующие специфические требования, присущие данному методу измерения.

Прежде всего необходимо правильно подобрать приборы. Вольтметр и амперметр должны быть класса точности не ниже 2,5. Если применяется трансформатор тока, его класс точности должен быть по крайней мере на ступень выше, чем у амперметра.

Большое значение имеет сопротивление вольтметра. Это видно из следующих соображений.

Сопротивление заземлителя определяется из выражения

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}, \text{ ом}, \quad (7)$$

где U_x — напряжение заземлителя относительно точки земли, где помещен зонд, δ ;

I_x — ток, проходящий через заземлитель, a .

Если измеренные U_x и I_x соответствуют действительным величинам U_3 и I_3 в (1), то R_x будет действительно равно R_3 .

На рис. 8 показана схема замещения для метода амперметра-вольтметра. Здесь через R_x , R_d и R_b обозначены соответственно сопротивление испытываемого заземлителя, зонда и вспомогательного заземлителя (еще раз напомним, что речь идет о сопротивлении заземлителей относительно земли, а не о сопротивлении их как проводников тока).

Ток I , показываемый амперметром, в точке A разветвляется: большая его часть — I_x проходит через измеряемое сопротивление R_x , а меньшая часть I_v — через цепь вольтметра, состоящую из сопротивления вольтметра R_v и сопротивления зонда R_d .

Действительное сопротивление R_x мы бы получили из (7) в том случае, если бы вольтметр был присоединен к точкам A и X и измерял все напряжение на сопротивлении R_x , а амперметр показывал бы ток I_x .

В действительности же вольтметр включен между точками A и B . Поэтому напряжение U_x распределяется между вольтметром и зондом и вольтметр показывает не все это напряжение, а лишь его часть:

$$U_v = U_x - U_d, \quad (8)$$

где U_d — падение напряжения на сопротивлении зонда.

Это приводит к погрешности измерения, относительная величина которой может быть определена по формуле

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} \% = - \frac{R_d}{R_v + R_d} 100, \quad (9)$$

где R_v — сопротивление вольтметра;

R_d — сопротивление зонда.

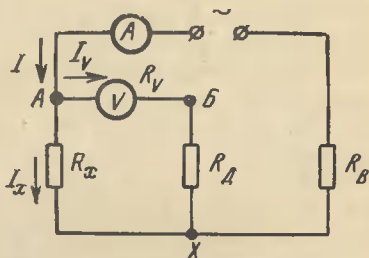


Рис. 8. Схема замещения для метода амперметра-вольтметра.

Знак минус показывает, что полученный результат измерения получается преуменьшенным.

Пример. Сопротивление вольтметра $R_V = 1500 \text{ ом}$, сопротивление зонда $R_d = 500 \text{ ом}$. Погрешность измерения:

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = - \frac{500}{1500 + 500} \cdot 100 = -25 \, \%.$$

Из (9) следует, что чем больше сопротивление вольтметра по сравнению с сопротивлением зонда, тем точнее будет результат измерения.

Кроме того, при наличии тока через цепь вольтметра амперметр показывает большую величину, равную $I_x + I_V$. Практически эта погрешность мала и ею можно пренебречь.

Из изложенного следует, что сопротивление вольтметра должно быть намного больше сопротивления зонда, которое может достигать 1—2 тыс. ом. Погрешность измерения, вызванная сопротивлением вольтметра, не должна превышать 2%. Для этого, как следует из (9), сопротивление вольтметра должно быть по крайней мере в 50 раз больше сопротивления зонда.

Если при измерении используется вольтметр с меньшим сопротивлением, полное напряжение испытуемого заземлителя вычисляется по формуле

$$U_x = U_V \left(1 + \frac{R_d}{R_V} \right), \text{ в}, \quad (10)$$

где U_V — показание вольтметра, в;
 R_d — сопротивление зонда, ом;
 R_V — сопротивление вольтметра, ом.

Но вольтметры с большим сопротивлением (за исключением транзисторных и ламповых) имеют большие пределы измерений, поэтому при измерении малых величин они дают значительные погрешности. Чтобы уменьшить погрешность при измерении малых сопротивлений, необходимо увеличить падение напряжения на измеряемом сопротивлении. Для этой цели при измерении увеличивают ток. Практически достаточным является ток 20—25 а. При измерении больших сопротивлений можно принять меньший ток.

Для измерений желательно применять многопредель-

ные вольтметры, позволяющие подобрать необходимую шкалу для получения достаточного отклонения стрелки. Наиболее подходящими для этих целей являются транзисторные вольтметры. Эти вольтметры имеют высокое сопротивление при малых пределах измерения. Они компактны и удобны для пользования. Например, ампервольтметр транзисторный типа Ф431/1 житомирского завода «Электроизмеритель» выпуска 1965 г. имеет сопротивление 1 Мом/в на пределах измерения $3\text{—}30\text{—}300 \text{ мв}$ и 1 Мом на пределах измерения $3\text{—}30\text{—}300 \text{ в}$ и класс точности 2,5. Применение этих вольтметров позволяет измерять тубое сопротивление заземляющего устройства, при этом сопротивлением зонда можно пренебречь.

При отсутствии транзисторных вольтметров можно воспользоваться ламповыми вольтметрами и в крайнем случае — электростатическими, которые имеют большой предел измерения и очень сжатую начальную часть шкалы. Можно применять и детекторные магнитоэлектрические приборы с большим внутренним сопротивлением (более 2000 ом/в).

Производство измерения. Измерение производится в следующем порядке: зонд и вспомогательный заземлитель располагают, как указано в § 4. Собирают схему рис. 7, реостат R вводят полностью. Амперметр и вольтметр присоединяют к испытуемому объекту отдельными проводами, в противном случае при случайном отключении соединенных вместе проводов вольтметр окажется под полным напряжением трансформатора и может быть поврежден. Вольтметр должен присоединяться как можно ближе к испытуемому заземляющему устройству, чтобы исключить из результата измерения падение напряжения в части заземляющей проводки.

По вольтметру при отключенном трансформаторе необходимо убедиться в отсутствии посторонних токов в земле. В случае обнаружения напряжения значительной величины от постороннего тока принимают меры к его устранению, например, отключают электросварку. Если это невозможно, меняют место расположения зонда с тем, чтобы поместить его в точке с нулевым потенциалом. Если и это не удастся, следует предельно увеличить ток в измерительной цепи (с учетом техники безопасности) с тем, чтобы падение напряжения от измерительного тока было бы значительно больше напряжения на контуре, создаваемом блуждающими токами. Если постороннее

напряжение отсутствует или имеет незначительную величину, приступают к измерению.

Включив трансформатор Tr в сеть, начинают плавно выводить реостат R , наблюдая одновременно за показаниями приборов. При этом надо добиваться отклонения стрелок примерно на $\frac{2}{3}$ шкалы. Если реостат выведен полностью, а ток еще недостаточен для получения достаточного отклонения стрелки вольтметра, это свидетельствует о чрезмерно большом сопротивлении испытуемого, а чаще всего вспомогательного заземлителя. Уменьшить сопротивление вспомогательного заземлителя можно забиванием дополнительных электродов, либо увлажнением вблизи него грунта обычной водой, раствором соли, щелочи, кислоты или уплотнением грунта.

Если ток уже достаточно велик (достаточный по расчету для отклонения стрелки вольтметра), но стрелка отклоняется очень мало, нужно измерить сопротивление зонда. Для измерения сопротивления зонда провод токовой цепи отсоединяют от испытуемого заземлителя и присоединяют к зонду. В остальном схема не меняется, при этом зонд становится испытуемым заземлителем, а испытуемый заземлитель — зондом. Сопротивлением испытуемого заземлителя при измерении сопротивления зонда можно пренебречь, так как оно ничтожно мало в сравнении с сопротивлением вольтметра. Поэтому сопротивление зонда можно определить путем деления измеряемого напряжения на величину тока.

Для измерения сопротивления вспомогательного заземлителя достаточно в схеме рис. 7 зажим вольтметра отсоединить от испытуемого заземлителя и присоединить к вспомогательному заземлителю.

Измеренное сопротивление вспомогательного заземлителя определяется так же, как и для зонда.

Если при измерении наблюдаются значительные колебания напряжения сети, схему измерения необходимо питать через стабилизирующее устройство либо отложить испытание. Отсчет производится одновременно по обоим приборам. Делается не менее трех отсчетов и за измеренную величину принимается среднее арифметическое из этих отсчетов. Результаты измерений заносятся в рабочую тетрадь по форме (табл. 2).

В таблице приняты следующие обозначения:

U_d , I_d — показания приборов при измерении сопротивления зонда;

Данные измерений и подсчетов сопротивления заземлителей
к методу амперметра-вольтметра

№ измерений	Место измерения	Показания приборов				Подсчеты		
		U_d	I_d	U_v	I_x	$R_d = \frac{U_d}{I_d}$	$U_x = U_v \left(1 + \frac{R_d}{R_v} \right)$	$R_x = \frac{U_x}{I_x}$

U_v , I_x — показания приборов при измерении сопротивления испытуемого заземлителя;

R_v , R_d — сопротивления вольтметра и зонда.

Схема разбирается лишь после выполнения всех измерений и подсчетов, если результаты измерений не вызывают сомнений.

Из изложенного следует, что измерение по методу амперметра-вольтметра является в известной степени сложным и небезопасным. Поэтому он должен применяться только там, где требуется измерять очень малые величины сопротивлений (электростанции, мощные подстанции), когда измеритель заземления типа МС-08 не обеспечивает необходимой точности измерения. В большинстве случаев измеритель заземления удовлетворяет требованиям точности и требует при измерении меньшего времени.

6. Измерение при помощи измерителя заземления типа МС-08

Описание прибора. Измеритель заземления типа МС-08, выпускаемый заводом «Энергоприбор», является в настоящее время основным прибором для массовых измерений. Принципиально он не отличается от выпускавшегося ранее прибора типа МС-07.

Прибор имеет три предела измерения: от 0 до 1 000 ом, от 0 до 100 ом и от 0 до 10 ом; и соответственно шкалы от 10 до 1 000 ом, от 1 до 100 ом и от 0,1 до 10 ом. Наибольшая гарантируемая заводом погрешность показаний прибора на делениях шкалы, имеющих цифровые отметки, не превышают $\pm 1,5\%$ всей длины шкалы, т. е. не бо-

лее 15 *ом* — для предела до 1 000 *ом*, 1,5 *ом* — для предела до 100 *ом* и 0,15 *ом* — для предела до 10 *ом*. Это значит, что погрешность измерения, отнесенная к измеряемой величине, будет различной в зависимости от того, в какой части шкалы находится измеряемая величина. Наибольшие погрешности будут в начале шкалы, т. е. при измерении малых величин.

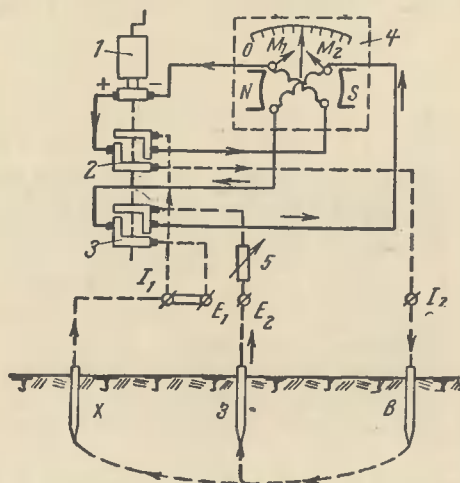


Рис. 9. Упрощенная схема измерителя заземления МС-08.

Поэтому если требуется точно измерить очень малое сопротивление, необходимо пользоваться другими методами (например, методом амперметра-вольтметра).

Для всех остальных случаев прибор является вполне надежным и удобным для пользования. Масштаб делений в начале шкалы увеличен, что облегчает отсчет малых величин.

Прибор портативен, снабжен генератором и поэтому не требует отдельного источника питания. Существенным достоинством прибора является также то, что он позволяет производить измерения при наличии посторонних токов в земле.

Принцип действия прибора основан на измерении сопротивления по величине тока и падению напряжения и поясняется рис. 9. Ток и напряжение измеряются од-

ним прибором — магнитоэлектрическим логометром 4. Логометр имеет две рамки — потенциальную и токовую. Рамки закреплены на оси под углом друг к другу и находятся в поле постоянного магнита. Ток в потенциальной рамке, включенной параллельно испытуемому заземлителю, пропорционален падению напряжения U на нем, а ток в токовой рамке, включенной последовательно, пропорционален току I , проходящему через заземлитель. Показание логометра пропорционально отношению токов в его рамках, т. е. в конечном счете пропорционально отношению U/I , что в нашем примере равно сопротивлению испытуемого заземлителя. Шкала логометра проградуирована в омах. Подвижная система логометра не имеет моментной пружины, поэтому при отсутствии тока в рамках она находится в неустойчивом состоянии. При наличии тока в рамках каждая из них создает вращающий момент (M_1 или M_2), противодействующий моменту другой рамки, при этом подвижная система прибора начинает проворачиваться в направлении действия большего момента. Величина моментов рамок зависит от угла поворота подвижной системы, поэтому по мере поворота рамки больший момент уменьшается, а меньший — увеличивается. В определенном положении моменты уравняются и подвижная система остановится; в этом положении и делается отсчет показания прибора.

Прибор состоит из генератора постоянного тока 1 с ручным приводом, на валу которого жестко закреплены прерыватель тока 2 и выпрямитель 3, логометра 4 и сопротивления 5.

Постоянный ток генератора 1 прерывателем 2 преобразовывается в переменный. Переменный ток проходит через вспомогательный заземлитель B в землю и через испытуемый заземлитель X возвращается в прерыватель, затем — через токовую обмотку логометра — в генератор (путь тока обозначен стрелками на проводниках). При повороте вала генератора на 180° переменный ток от прерывателя проходит в землю в обратном направлении: от испытуемого заземлителя к вспомогательному, затем к прерывателю и через токовую обмотку логометра (в том же направлении) в генератор.

Переменное напряжение, снимаемое с участка земли между испытуемым заземлителем и зондом, преобразовывается выпрямителем 3 в постоянное и подается к потенциальной рамке логометра (направление тока пока-

зано стрелками рядом с проводниками). Поэтому через рамки логометра все время проходит постоянный ток, а в земле — переменный ток. Постоянный ток обозначен сплошными линиями, а переменный — пунктирными.

Прибор градуирован для внешнего сопротивления потенциальной цепи, равного $1\,000\text{ ом}$; такое же сопротив-

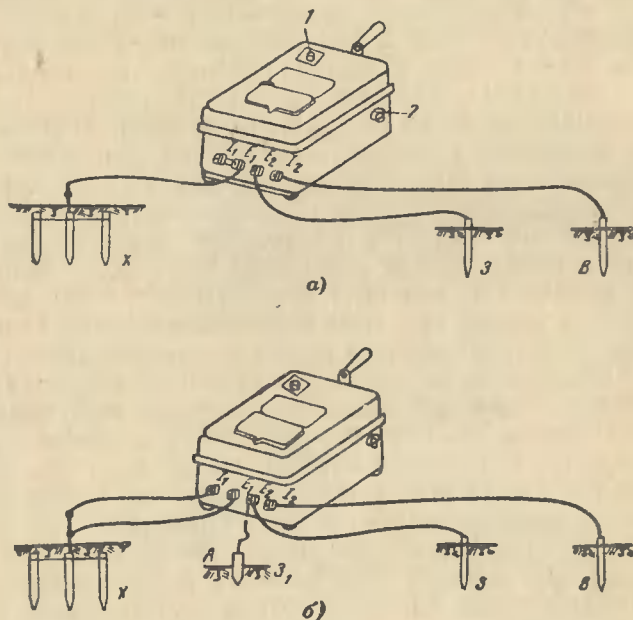


Рис. 10. Схема измерения сопротивления заземляющих устройств измерителем заземления МС-08.

а — сопротивление соединительных проводников входит в измеряемую величину; *б* — сопротивление соединительных проводников исключается из измеряемой величины.

ление она должна иметь и при измерениях. Для дополнения (компенсации) сопротивления потенциальной цепи до $1\,000\text{ ом}$ в нее введено регулируемое сопротивление 5.

Более подробное описание измерителя заземления приведено в [Л. 9].

Включение прибора и производство измерений. Для измерения прибор необходимо установить как можно ближе к испытуемому заземлителю. Строго горизонталь-

ной установки прибора не требуется, так как его подвижная система хорошо сбалансирована. Включение прибора для измерения больших сопротивлений производится по схеме рис. 10, а, при этом сопротивление проводника, соединяющего зажимы I_1 , E_1 с испытуемым заземлителем X , входит в измеряемое сопротивление. Поэтому для исключения больших погрешностей сечение этого проводника должно быть не менее 4—6 мм², а длина — не более 2 м.

При невозможности приближения измерителя заземления к испытуемому заземлителю и при измерении малых сопротивлений необходимо снять перемычку между зажимами I_1 и E_1 и соединить каждый из них с испытуемым заземлителем отдельным проводником (рис. 10, б). В этом случае соединительные проводники не внесут погрешности в результат измерения.

Если при собранной схеме и неподвижном генераторе стрелка прибора отклоняется от первоначального положения, это свидетельствует о наличии в земле постороннего постоянного тока. Однако этот ток не окажет существенного влияния на результат измерения, так как при вращении генератора выпрямитель 3 (рис. 9) будет преобразовывать его в переменный, на который магнитоэлектрический логометр не реагирует.

Сначала необходимо скомпенсировать сопротивление потенциальной цепи, состоящее из сопротивлений зонда и соединительных проводников. Для этой цели переключатель режимов 1 (рис. 10, а) устанавливают в положение «регулировка» и, вращая рукоятку генератора со скоростью 120—135 об/мин, поворачивают рукояткой 2 регулируемое сопротивление до совпадения стрелки с красной чертой на шкале. Начинать вращение надо медленно, наблюдая за стрелкой, ибо в случае обрыва потенциальной цепи стрелка резко ударится об упор, что может привести к повреждению прибора. Если при крайнем положении регулируемого сопротивления установить стрелку на красную черту не удастся, а схема измерения собрана правильно, то зонд имеет сопротивление больше 1 000 ом (что возможно, например, в сухом песчаном грунте). В этом случае сопротивление зонда необходимо уменьшить.

После компенсации приступают к измерению. Для этого переключатель 1 переводят в положение $\times 1$, что соответствует пределу 1 000 ом. Если при скорости вра-

щения генератора 120—135 об/мин отклонение стрелки незначительно, нужно перейти на предел $\times 0,1$ (шкала 100 ом), затем $\times 0,01$ (шкала 10 ом). При этом надо стремиться к тому, чтобы стрелка отклонилась не менее чем на $\frac{2}{3}$ шкалы. При вращении генератора производят отсчет по шкале, который затем умножают на коэффициент, указываемый переключателем пределов.

Колебания стрелки прибора при измерении свидетельствуют о наличии посторонних переменных токов в земле, которые можно устранить изменением скорости вращения генератора. Эта скорость, однако, не должна выходить за пределы 90—150 об/мин. В некоторых случаях не удастся полностью устранить колебания стрелки; при незначительных колебаниях можно производить измерения, при этом погрешность измерения будет невелика.

Иногда стрелка устанавливается неуверенно, что свидетельствует о чрезмерно большом сопротивлении вспомогательного заземлителя и недостаточной чувствительности логометра. Величины сопротивлений должны быть не более:

Предел измерения, ом	1 000	100	10
Предельно допустимое сопротивление вспомогательного заземлителя, ом	1 000	500	250

Для измерения сопротивления вспомогательного заземлителя достаточно поменять местами проводники, присоединенные к зажимам I_1 и I_2 измерителя заземления, и произвести измерения, как указано выше. При этом испытуемый и вспомогательный заземлители меняются местами (учесть расстояния согласно рис. 6).

Измерение может производить один человек, но целесообразней работать вдвоем: один наблюдает за вспомогательными электродами и соединительными проводами и работает щупом, а второй — с прибором.

После того как схема для измерений собрана согласно рис. 10 и компенсация произведена, операторы приступают к измерениям.

Результаты измерения заносятся в протокол (приложение 1).

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА¹

7. Основные сведения об определении распределения потенциалов

В § 2 указывалось, что защитное действие заземляющего устройства определяется не только его сопротивлением, но и распределением потенциалов по поверхности земли вокруг заземлителей в аварийном режиме.

Согласно ПУЭ измерение распределения потенциалов по поверхности земли не входит в объем приемосдаточных испытаний электроустановок и не является обязательным. Однако в отдельных случаях (например, для исследовательских целей) оно может понадобиться, поэтому описание такого измерения приводится ниже.

Так как величина тока при измерении во много раз меньше величины тока в аварийном режиме, измеренные потенциалы оказываются во столько же раз меньше потенциалов, которые возникнут при прохождении через заземлитель аварийного тока.

Зная потенциалы при измерении и величины токов при измерении и аварийном режиме, можно определить потенциалы при аварийном режиме по формуле

$$U_{ав} = U_{из} \frac{I_{ав}}{I_{из}}, \text{ в}, \quad (11)$$

где $U_{ав}$ — потенциал при аварийном режиме, в;
 $U_{из}$ — потенциал при измерении, в;
 $I_{ав}$ — ток, проходящий через заземлитель при аварии, определяемый расчетом, а;
 $I_{из}$ — ток при измерении, а.

Характер распределения потенциалов практически почти не зависит от величины тока, проходящего через заземлитель. Поэтому полученные измерением потенциалы выражают в процентах от полного потенциала $U'_{пол.из}$ при токе измерения по выражению

$$U\% = \frac{U_{из}}{U'_{пол.из}} 100. \quad (12)$$

¹ Формулы, приведенные в настоящей главе, заимствованы в основном из [Л. 8].

* Определение полного потенциала см. § 1.

От процентного выражения можно перейти к абсолютным значениям потенциалов $U_{ав}$ при токе аварийного режима по выражению

$$U_{ав} = \frac{U\%}{100} U_{пол.из} \frac{I_{ав}}{I_{изм}}, \quad (13)$$

но

$$\frac{U_{пол.из}}{I_{изм}} = R_x,$$

поэтому если известен ток в аварийном режиме $I_{ав}$, пересчет процентного выражения в абсолютные значения потенциалов может быть произведен по формуле:

$$U_{ав} = \frac{U\%}{100} R_x I_{ав}, \text{ в.} \quad (14)$$

По полученным результатам строят кривые распределения потенциалов.

На открытых подстанциях кривые распределения потенциалов снимают в направлениях расположения основного оборудования и в местах вероятного нахождения людей: у масляных выключателей, трансформаторов, разъединителей, у входов и въездов на подстанцию, на прилегающих к заземляющим устройствам дорогах, на воздушных линиях — у опор, в особенности если они проходят в населенных местах.

Потенциалы снимают в точках, находящихся друг от друга на расстоянии 0,8 м. За пределами заземляющего устройства потенциалы снимают сначала через 0,8 м, а по мере удаления от заземлителя это расстояние постепенно увеличивают до 5 м. Для получения верных результатов измерения повторяют несколько раз. Снятие потенциалов производят до получения достаточно плавного участка кривой.

Для определения распределения потенциалов на поверхности земли в каком-либо направлении зонд помещают в различных точках поверхности земли, потенциал которых хотят измерить, в данном направлении от испытуемого заземлителя до зоны нулевого потенциала, и измеряют потенциал в каждой точке. При этом зонд погружают на глубину не более 5—8 см*. Расстояния

* Если при этом сопротивление зонда будет сказываться на качестве измерения, то следует либо углубить зонд, либо увлажнить грунт около зонда.

между испытуемым и вспомогательными заземлителями принимаются достаточно большими, чтобы обеспечить зону нулевого потенциала.

В некоторых случаях применяются схемы, отличные от схем измерения сопротивлений заземляющих устройств, например схема рис. 12.

8. Методы определения распределения потенциалов

а) Определение потенциалов при помощи вольтметра. Измерение потенциалов производится так же, как и сопротивления заземлителей.

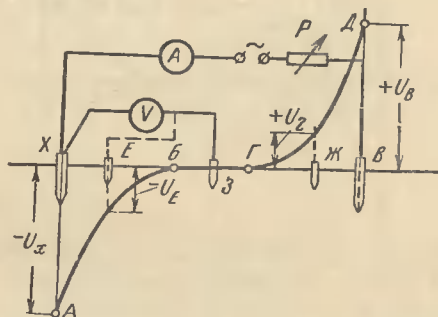


Рис. 11. Схема определения потенциалов при помощи вольтметра.

Сначала зонд помещают в зоне нулевого потенциала и измеряют полный потенциал U_x , затем его помещают в точку E (или $Ж$), потенциал которой хотят измерить (рис. 11).

Вольтметр, включенный между заземлителем X и зондом, помещенным в точке E , покажет величину

$$U_V = U_x - U_E, \text{ в.} \quad (15)$$

Отсюда потенциал точки E равен:

$$U_E = U_x - U_V, \text{ в} \quad (16)$$

или в процентном выражении

$$U_E \% = \frac{U_E}{U_x} \cdot 100 = \frac{U_x - U_V}{U_x} \cdot 100 =$$

$$= \left(1 - \frac{U_v}{U_x}\right) 100. \quad (17)$$

Зонд перемещают от испытуемого заземлителя в необходимом направлении, и измерения производят до тех пор, пока $U_x - U_v$ будет равно или весьма близко к нулю.

Так как зонд при измерении потенциалов погружается на небольшую глубину и, следовательно, имеет очень большое сопротивление, в этих случаях примене-

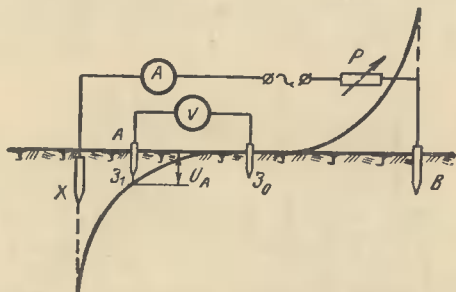


Рис. 12. Схема непосредственного измерения потенциалов при помощи вольтметра.

ние транзисторного или лампового вольтметра обязательно.

Определение распределения потенциалов должно производиться при неизменном токе, который поддерживается реостатом и контролируется амперметром.

б) Непосредственное измерение потенциалов при помощи вольтметра. По схеме (рис. 12) потенциалы могут быть измерены непосредственно, без каких-либо вычислений. Для этого применяют неподвижный зонд Z_0 , помещаемый в зоне нулевого потенциала, и передвигной зонд Z_1 — в точках, потенциал которых желательно измерить.

Из рисунка видно, что в точке A поверхности земли, где помещен зонд Z_1 , вольтметр покажет потенциал U_A , т. е. $U_v = U_A$ или

$$U_A \% = \frac{U_A}{U_x} \cdot 100 = \frac{U_v}{U_x} \cdot 100. \quad (18)$$

Все указания, приведенные в п. «а», относятся и к данному случаю.

в) **Определение потенциалов при помощи измерителя заземления.** Прибор включается так же, как и для измерения сопротивления заземляющего устройства (рис. 10). Сначала зонд помещают в зоне нулевого потенциала и измеряют сопротивление заземлителя R_x , которое, как известно, равно:

$$R_x = \frac{U_x}{I_{из}}, \text{ ом.} \quad (19)$$

Установив зонд в точке A , потенциал которой желательно определить, снова производят измерение сопротивления, которое равно:

$$R_A = \frac{U_x - U_A}{I_{из}}, \text{ ом.} \quad (20)$$

Из (19) и (20) находим:

$$I_{из} = \frac{U_x}{R_x},$$
$$I_{из} = \frac{U_x - U_A}{R_A}.$$

Так как величина измерительного тока при перестановке зонда остается неизменной¹, эти выражения можно приравнять:

$$\frac{U_x}{R_x} = \frac{U_x - U_A}{R_A},$$

откуда находим потенциал точки A в процентах:

$$U_A \% = \frac{U_A}{U_x} \cdot 100 = \left(1 - \frac{R_A}{R_x}\right) 100. \quad (21)$$

Если известен ток аварийного режима, то абсолютные величины потенциалов точек земли могут быть определены по (14).

Недостаток этого метода заключается в том, что измерителем заземления нельзя определять потенциалы точек земли в непосредственной близости от заземлителей, так как при этом приходится измерять очень малые сопротивления.

¹ Это справедливо, если неизменна скорость вращения генератора и если за время испытаний не изменились сопротивления заземлителей X и B (например, не было дождя).

9. Определение выноса потенциалов

На территории станций, подстанций и других электроустановок имеются трубопроводы, кабели, рельсы и другие протяженные металлические элементы, выходящие за пределы этих объектов. Через эти протяженные элементы сооружений может быть введен нулевой потенциал на территорию станции или подстанции.

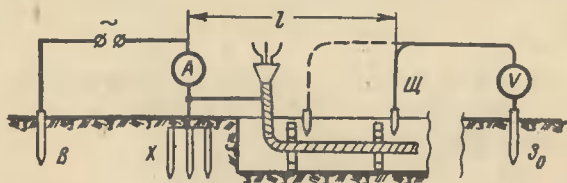


Рис. 13. Схема измерения выноса потенциалов.

В этом случае, несмотря на удовлетворительное выравнивание потенциалов на территории электроустановки, возможно появление опасных напряжений прикосновения и шага. Для исключения такой опасности эти протяженные элементы сооружений присоединяют к заземляющему устройству электроустановки, тогда они используются одновременно как естественные вспомогательные заземлители. Однако в случаях невыполнения требований ПУЭ при прохождении через заземляющее устройство тока аварийного режима на нем и на всех связанных с ним протяженных металлических предметах могут возникнуть большие потенциалы, которые могут быть вынесены за пределы подстанции, что может привести к поражению током людей и животных.

Согласно ПУЭ не требуется проверять, выносятся ли потенциалы за территорию электроустановки и каков характер их распределения. Однако в отдельных исключительных случаях (например, для исследовательских целей) может возникнуть такая необходимость.

Вынос потенциалов характеризуется выраженным в процентах отношением величины вынесенного в данное место потенциала к полному потенциалу заземляющего устройства.

Измерение величины вынесенных потенциалов производится вольтметром по схеме рис. 13, присоединяемого одним зажимом к зонду Z_0 , помещенному в зоне

нулевого потенциала, а вторым со щупом *Щ* к точке около протяженного элемента, где желательно измерить величину вынесенного потенциала. Перемещая щуп вдоль поверхности над протяженным предметом, можно снять кривую распределения потенциалов вдоль него: $U=f(l)$, где l — расстояние от заземляющего устройства до места измерения.

10. Основные сведения об измерении удельного сопротивления грунта

При проектировании заземляющих устройств важно знать величину удельного сопротивления грунта в месте, где предполагается сооружать заземлитель. Величину ρ необходимо знать и при некоторых испытаниях. Например, нормы предельно допустимых величин сопротивления заземлителей опор линий электропередачи даются в зависимости от величины ρ .

В § 1 указывалось, что под удельным сопротивлением грунта понимают сопротивление кубика грунта с ребром в 1 см. Однако определять ρ путем измерения сопротивления такого кубика было бы неправильно по следующим причинам. Плотность и структура извлеченного из грунта образца не будут такими, как в реальном грунте. Кроме того, измеренная величина будет относиться к одной точке грунта, а не ко всему его объему, прилегающему к сооружаемому заземлителю.

Для расчета сложных заземлителей необходимо знать кажущееся удельное сопротивление реального грунта ρ_k для всего объема, учитывающее неоднородность электрических характеристик различных его слоев. Для выбора экономических параметров заземлителей необходимо знать распределение ρ по глубине земли. Это достигается измерением ρ_k по методу вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), изложенного в § 12.

Для получения надежных результатов измерения следует производить в теплое время года. Учитывая, что грунт может быть неоднородным, измерения должны производиться не менее чем в четырех точках исследуемой площадки. Количество точек измерения определяется размерами исследуемой площадки и степенью неоднородности грунта. Если измерения, произведенные в различных точках площадки, дают величины ρ_k , отли-

чающиеся друг от друга более чем на 50%, количество точек измерения должно быть увеличено. При этом должно указываться несколько величин ρ_k для различных участков площадки. Если же измеренные величины для различных участков площадки отличаются друг от друга не более чем на 30%, грунт в пределах всей площадки можно считать однородным, и его следует характеризовать средним значением удельного сопротивления.

11. Измерение удельного сопротивления грунтов по методу контрольного электрода

Описанный в § 12 метод ВЭЗ является наиболее верным и перспективным, однако применяется также метод контрольного электрода.

При измерении по этому методу на площадке, где желательно измерить удельное сопротивление, в грунт забивают контрольный электрод в виде трубы, стержня или уголка таких же размеров и на такую же глубину, как у действительного заземлителя. Кроме контрольного электрода, в грунт забивают вспомогательный заземлитель и зонд. Затем любым из указанных выше методов измеряют сопротивление контрольного электрода R .

Действующее удельное сопротивление грунта вычисляют по формуле¹

$$\rho_d = \frac{R_{т0} l}{0,366 \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right)}, \text{ ом} \cdot \text{см}, \quad (22)$$

где $R_{т0}$ — сопротивление трубы, использованной в качестве контрольного электрода;

l — длина трубы, см;

d — внешний диаметр трубы, см;

t — глубина заложения трубы, равная расстоянию от поверхности земли до середины трубы, см.

Если при испытании применялся контрольный электрод в виде стальной трубы длиной 2,5 м и внешним диаметром 2" (≈ 50 мм), забиваемый в грунт таким образом, чтобы верхний конец его был ниже уровня земли

¹ Настоящая формула, как и остальные формулы данного параграфа, взята из [Л. 6].

на 0,7 м, ρ_d может быть вычислено по упрощенной формуле

$$\rho_d = \frac{R_{T0}}{0,00302}, \text{ ом} \cdot \text{см}. \quad (23)$$

Аналогично при применении в качестве контрольного электрода отрезка уголкового стали 50×50 мм длиной 2,5 м ρ_d может быть вычислено по формуле

$$\rho_d = \frac{R_y}{0,00318}, \text{ ом} \cdot \text{см}, \quad (24)$$

где R_y — сопротивление контрольного электрода из уголкового стали.

Для измерения удельного сопротивления верхних слоев грунта с целью уточнения сопротивления полосовых заземлителей на глубине 0,8 м и менее укладывают стальную контрольную полосу, сечением примерно 40×4 мм, длиной 10 м и измеряют ее сопротивление. Перед измерением необходимо хорошо утрамбовать землю над полосой.

ρ_d грунта на указанной глубине определяется по формуле

$$\rho_d = \frac{R_{п0} l}{0,366 \lg \frac{2l^2}{bt}}, \text{ ом} \cdot \text{см}, \quad (25)$$

где $R_{п0}$ — сопротивление контрольной полосы, ом;
 l — длина полосы, см;
 b — ширина полосы, см;
 t — глубина заложения полосы, см.

Для получения верных результатов контрольные электроды необходимо забивать в разных местах исследуемой площадки.

Метод контрольного электрода обеспечивает удовлетворительными данными при проектировании одиночных заземлителей или заземлителей, охватывающих небольшую площадь (опоры воздушных линий, небольшие ТП и т.п.). Кроме того, измерение по методу контрольного электрода не позволяет получить сведения о фактическом распределении удельного сопротивления по глубине земли, необходимые для выбора экономичных заземлителей. Поэтому при изысканиях на площадках, где предполагается сооружать крупные заземлите-

ли, охватывающие большие площади, должен применяться метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), описанный в §12.

12. Измерение удельного сопротивления грунтов по методу вертикального электрического зондирования (ВЭЗ)

Описываемый метод позволяет определять кажущееся удельное сопротивление грунтов на различной глубине путем электрических измерений, производимых на поверхности земли. Принцип метода поясняется рис. 14.

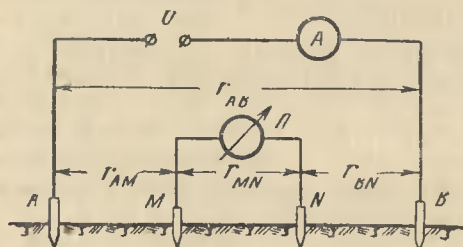


Рис. 14. Схема измерения удельного сопротивления грунта по методу ВЭЗ на постоянном токе.

На поверхности земли по прямой линии устанавливают четыре электрода A, M, N и B . К крайним электродам A и B присоединен источник тока U и амперметр A . Возникающее электрическое поле распространяется в земле на глубину, зависящую от расстояния между электродами A и B , называемого разносом. Чем больше разнос электродов, тем на большую глубину проникает электрическое поле и, следовательно, на большей глубине определяется ρ_k . При помощи измерительного устройства Π , присоединенного к средним электродам M и N , определяют разность потенциалов двух точек на поверхности земли.

Измеренное удельное сопротивление ρ_k вычисляется по формуле

$$\rho_k = k \frac{\Delta U}{I}, \text{ ом} \cdot \text{см}, \quad (26)$$

где ΔU — разность потенциалов, измеренная между средними электродами M и N ;

I — измеренная величина тока;
 k — коэффициент установки, зависящий от расстояний между электродами.

Величина коэффициента k определяется из выражения

$$k = \pi \frac{r_{AM} r_{AN}}{r_{MN}}, \quad (27)$$

где r — расстояние между соответствующими электродами, см.

При однородном грунте формула (26) дает истинное значение ρ . В случае неоднородного грунта результат представляет собой кажущееся удельное сопротивление ρ_k некоторого объема грунта, примыкающего к испытательной установке. Считается, что этот объем представляет собой полусферу, диаметр которой равен разному крайних электродов (рис. 14). Величина ρ_k отражает удельное сопротивление всех слоев объема грунта, примыкающих к испытательной установке.

Приблизленно глубину h , на которой определяют удельное сопротивление грунта, принимают равной $1/3$ — $1/4$ разности крайних электродов r_{AB} .

Метод ВЭЗ разработан геофизиками. Геофизикам необходимо производить измерения с высокой точностью и они производят измерения на постоянном токе.

Для обеспечения точности измерений на постоянном токе электроды M и N должны быть специальные — неполяризующиеся¹, электроды A и B могут быть любыми. С достаточной степенью точности, необходимой для проектирования заземлителей, можно производить измерения на переменном токе. При этом следует учитывать погрешности, о которых говорилось в § 4.

Забывать электроды следует на глубину, не превышающую $1/20$ расстояния между соседними электродами.

Электроды устанавливают симметрично относительно вертикали, вдоль которой измеряют ρ .

Разнос средних электродов M и N принимается минимальным. Если показание прибора, измеряющего разность потенциалов, оказывается слишком малым, что

¹ Специальные электроды с химическим раствором — электролитом, который способствует деполяризации.

увеличивает погрешность измерений, разнос электродов M и N следует увеличить. Затем увеличивают разнос электродов A и B , производя измерения для каждого разнosa. При измерениях соблюдать условие

$$r_{MN} \leq \frac{1}{3} r_{AB}$$

Измерение начинают с минимального разнosa r_{AB} (600—800 см), затем его постепенно увеличивают. Для каждого разнosa измеряют ρ_k и строят график ВЭЗ —

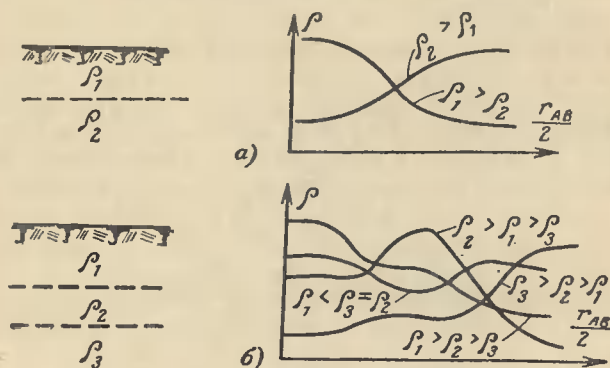


Рис. 15. Вид графиков ВЭЗ в зависимости от соотношения удельных сопротивлений грунта по слоям.

a — двухслойный грунт; b — трехслойный грунт.

зависимость ρ_k от величины полуразнosa электродов $r_{AB}/2$.

Вид графика ВЭЗ зависит от числа горизонтальных слоев геологического разреза и от соотношений между их удельными сопротивлениями. Поэтому, пользуясь этим графиком, можно получить необходимые сведения об удельном сопротивлении грунта на различной глубине.

Существуют рассчитанные для различного залегания слоев грунта теоретические кривые, собранные в группы (палетки).

На рис. 15 показан примерный вид графиков ВЭЗ.

Наложив полученный экспериментально график ВЭЗ, вычерченный на кальке, на палетку, стремятся найти на ней кривую, совпадающую с графиком ВЭЗ. По этой кривой определяют количество слоев, мощность (толщи-

ну) и истинное удельное сопротивление каждого слоя исследуемого участка.

Подробное описание метода ВЭЗ можно найти в литературе по электроразведке, например в [Л. 17].

Знание распределения удельных сопротивлений грунта по глубине позволяет более точно, а поэтому и более экономично проектировать заземлители.

Для измерения ρ_k по методу ВЭЗ может быть использован измеритель заземления типа МС-08. Для этого перемычки с зажимов снимаются, прибор включается по схеме рис. 16 и измеряется сопротивление.

Если принять одинаковое расстояние между соседними электродами, равное a (рис. 14), формула (26) примет следующий вид

$$\rho_k = 2\pi a R. \quad (28)$$

Измерения удельного сопротивления грунта обычно производятся летом. Для приведения результатов измерения к наихудшим условиям, которые могут быть в эксплуатации и которые нужно учитывать при проектировании, применяются повышающие коэффициенты (см. табл. 3)

Таблица 3

Повышающие коэффициенты к величине измеренного сопротивления заземлителя или удельного сопротивления грунта для средней полосы СССР [Л. 6]

Заземлители	Глубина заложения, м	k_1	k_2	k_3
Поверхностные	0,5	6,5	5,0	4,5
	0,8	3,0	2,0	1,6
Углубленные (трубы, уголки, стержни)	Верхний конец на глубине около 0,8 м от поверхности земли	2,0	1,5	1,4

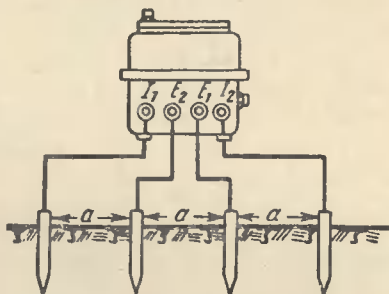


Рис. 16. Схема измерения удельного сопротивления грунта измерителем заземления МС-08.

k_1 — применяется в случае, когда измерение производится при влажном грунте и времени измерения предшествовало выпадению большого количества осадков;

k_2 — применяется в случае, когда измерение производится при грунте средней влажности и времени измерения предшествовало выпадению небольшого количества осадков;

k_3 — применяется в случае, когда измерение производится при сухом грунте и времени измерения предшествовало незначительное количество осадков.

Пример. Сопротивление заземлителя, выполненного из уголков, забитых в землю, измерялось при влажном грунте; в период, предшествующий измерению, выпадало много осадков. Измеренная величина сопротивления оказалась равной 0,6 *ом*. Для этих условий измерения подходит коэффициент k_1 , величина которого для данного заземления равна двум (табл. 3). Максимально возможное сопротивление данного заземлителя в период наименьшей проводимости грунта равно $0,6 \cdot 2 = 1,2$ *ом*. Эту величину (1,2 *ом*) и следует сопоставлять с нормой при решении вопроса о пригодности заземлителя к эксплуатации.

Введение повышающих коэффициентов не требуется для заземлителей, лежащих ниже глубины промерзания грунта и при измерении сопротивления заземлителей, находящихся в промерзшем грунте. Это следует учитывать при глубинном зондировании по методу ВЭЗ.

IV. ПРОВЕРКА СЕТИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ И НАДЕЖНОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

13. Проверка состояния элементов заземляющего устройства

Под элементами заземляющего устройства понимаются все части, из которых оно состоит: естественные и искусственные заземлители, заземляющие проводники, в том числе металлоконструкции, используемые в качестве заземляющих проводников, нулевые провода, контактные и сварные соединения. Каждый из этих элементов играет важную роль в работе заземляющего устройства и поэтому все они должны подвергаться систематическому и тщательному контролю.

Перед проверкой состояния элементов заземляюще-

го устройства в целях выяснения его характера и соответствия своему назначению необходимо осмотреть элементы электроустановки. При осмотре электроустановки проверяется наличие пробивных предохранителей у трансформаторов в сетях с изолированной нейтралью, заземления нейтралей в четырехпроводных сетях переменного тока до 1000 в в соответствии с требованиями ПУЭ. В сетях до 1000 в с глухим заземлением нейтрали проверяется наличие и правильность прокладки нулевых проводов, наличие калиброванных плавких вставок предохранителей и их соответствие прокату, пределы регулирования тока автоматов; намечаются места присоединения приборов для измерения полного сопротивления петли фаза-нуль.

Проверка состояния элементов заземляющего устройства заключается во внешнем осмотре их и в проверке надежности сварных соединений путем простукивания, а болтовых — осмотром и подтягиванием гаек.

Поздземные части вновь смонтированного заземляющего устройства (заземлители) осматриваются после полного окончания монтажа, до засыпки замлей.

При осмотре подземной части проверяют соответствие ее проекту и требованиям ПУЭ: конструкция, материал и количество электродов, расстояние между ними, материал и сечение соединительной шины и выводов, качество сварных соединений.

Длина заземляющих электродов проверяется по акту скрытых работ, составляемому монтирующей организацией. Если к моменту испытания подземная часть оказывается засыпанной землей, проверка производится путем выборочного устройства шурфов. Таким же образом контролируется подземная часть эксплуатируемого заземляющего устройства. Результаты осмотра сопоставляются с проектными данными, требованиями ПУЭ и результатами предыдущих испытаний.

Элементы подземной части заземляющего устройства не должны быть окрашены, их размеры должны быть не менее указанных в табл. 4.

Подземная часть заземляющего устройства должна соединяться с надземной ее частью не менее чем двумя проводниками (выводами), расположенными в противоположных ее точках. Размеры этих выводов и указания по их прокладке и присоединению указываются в проекте.

Таблица 4

**Наименьшие размеры стальных заземлителей
и заземляющих проводников [Л. 1]**

Наименование	В зданиях	В наруж- ных уста- новках	В земле
Круглые, диаметр, мм	5	6	6
Прямоугольные:			
сечение, мм ²	24	48	48
толщина, мм	3	4	4
Угловая сталь, толщина полок, мм .	2	2,5	4
Стальные газопроводные трубы, тол- щина стенок, мм	2,5	2,5	3,5
Стальные тонкостенные трубы, тол- щина стенок, мм	1,5	Не допускается	

При внешнем осмотре надземной части проверяются: места и надежность присоединения выводов от заземлителей к заземляющей магистрали, целостность заземляющей проводки, материал, размеры и окраска надземных проводников, способы их прокладки, крепления и перехода через междуэтажные перекрытия и стены, качество сварных соединений и болтовых контактов, места и качество присоединения естественных заземляющих проводников (трубопроводы, металлоконструкции зданий, обрамление кабельных каналов и т. д.). Каждый заземляемый элемент электроустановки должен присоединяться к заземлителю или к заземляющей магистрали отдельным проводником; последовательное соединение заземляемых элементов не допускается.

Стальные заземляющие проводники надземной части заземляющего устройства должны иметь сечение не ме-

Таблица 5

**Наименьшие сечения медных и алюминиевых
заземляющих проводников в электроустановках до 1000 в**

Наименование	Медь, мм ²	Алюми- ний, мм ²
Голые проводники при открытой прокладке .	4	6
Изолированные провода	1,5	2,5
Заземляющие жилы кабелей или многожил- ных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами	1	1,5

нее приведенных в табл. 4, медные и алюминиевые — табл. 5 [Л. 1].

Наименьшие диаметры заземляющих проводников, указанные в табл. 4, не относятся к нулевым проводникам электропроводок и воздушных линий, используемых для целей заземления. В этом случае сечения однопроволочных нулевых проводов должны быть равны сечениям фазных проводов.

Наименьшие сечения (диаметры) проводов воздушных линий приведены в табл. 6.

Таблица 6

Наименьшие сечения (диаметры) проводов воздушных линий по условиям механической прочности [Л. 1]

Наименование проводов	Сечение, мм ²	Диаметр, мм
Алюминиевые	16	—
Сталеалюминиевые и биметаллические	10	—
Стальные многопроволочные	25	—
Стальные однопроволочные	—	4

Применение однопроволочных стальных проводов диаметром более 5 мм и однопроволочных биметаллических проводов диаметром более 6,5 мм для воздушных линий не допускается.

Соединения заземляющих проводников с магистралью заземления и между собой должны выполняться сваркой внахлестку, а присоединения их к оборудованию — сваркой или болтовыми соединениями. Проходы заземляющих проводников и магистралей через стены и междуэтажные перекрытия должны выполняться в проемах. Заземляющая проводка на всем протяжении должна быть доступна для осмотра. Допускается короткие ответвления от магистрали к электроприемникам прокладывать в полу и фундаментах в стальных трубах диаметром порядка 80 мм.

Если в результате внешнего осмотра обнаруживаются дефекты электроустановки, препятствующие испытанию заземляющего устройства или его нормальной работе (например, обрыв или отсутствие нулевых проводов в электроустановках до 1000 в с глухим заземлением нейтрали), дальнейшие испытания должны быть приостановлены до устранения дефектов.

Результаты осмотра заносятся в протокол обследования и испытания заземляющего устройства, являющийся частью технического отчета по испытаниям.

14. Проверка наличия цепи между заземлителями и заземляемыми элементами

а) Общие указания. При обрыве цепи между заземлителем и каким-либо заземляемым элементом последний оказывается отключенным от заземляющего устройства и его дальнейшая эксплуатация в таком виде недопустима. Ненадежный контакт в цепи заземления может быть не выявлен, но при прохождении через него тока аварийного режима он нарушается и заземляемый элемент, как и в первом случае, окажется незаземленным. Сопротивление заземляющих проводников и всего заземляющего устройства может оказаться чрезмерно большим. В результате при прохождении тока в аварийном режиме через заземляющее устройство падение напряжения на нем достигнет опасной величины.

Поэтому ПУЭ требует обязательной проверки наличия цепи между заземлителем и заземляемыми элементами перед вводом в эксплуатацию вновь смонтированной электроустановки. В процессе эксплуатации такую проверку необходимо производить и на действующих электроустановках.

Величина сопротивления заземляющей проводки ПУЭ не нормируется, обычно она невелика и составляет десятые доли ома на ветвь.

Для отыскания повреждения (обрыва) проверяют отдельные участки заземляющей проводки и контактные соединения. Проверку можно производить без отключения испытуемого оборудования, однако предварительно необходимо убедиться при помощи вольтметра или указателя напряжения в отсутствии напряжения на корпусе испытуемого электроприемника.

Проверка целостности цепи заземляющей проводки производится измерением ее сопротивления различными приборами: измерителем заземления, мостами, методом амперметра-вольтметра, омметрами, специальным омметром типа М-372 для измерения сопротивления заземляющей проводки, микроомметром типа М-246, градуированным амперметром и т. п. Пользование мегомметром для этих целей недопустимо, так как

мегомметры измеряют очень большие сопротивления; кроме того, напряжение мегомметров велико, в результате чего плохой контакт может быть ошибочно принят за хороший.

При измерении в обычных помещениях следует отдавать предпочтение методам, использующим большие то-

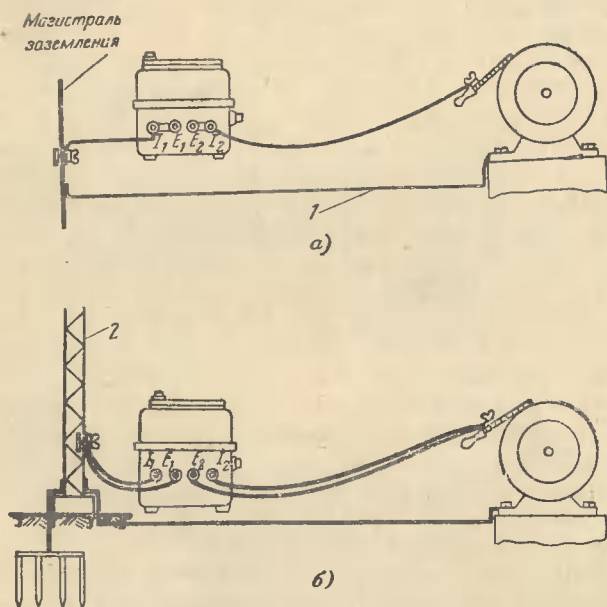


Рис. 17. Схема измерения сопротивления заземляющей проводки измерителем заземления МС-08

a — сопротивление соединительных проводников входит в измеряемую величину; *б* — сопротивление соединительных проводников исключается из измеряемой величины.

ки и малые напряжения, например, методу амперметра-вольтметра или методу градуированного амперметра. При пропускании значительного тока (10—30 а) в местах плохого контакта происходит быстрый нагрев и искрение, что облегчает нахождение места повреждения.

Применение больших токов недопустимо в помещениях взрывоопасных и пожароопасных.

Ниже рассматривается применение некоторых приборов.

б) Измерение сопротивления заземляющей проводки при помощи измерителя заземления типа МС-08. Если на объекте используется измеритель заземления, то целесообразно им же измерять исправность сети заземления.

При малых расстояниях между заземляемыми элементами и магистралью заземления измерение можно производить по схеме рис. 17, а. По этой схеме сопротивление соединительных проводов входит в измеряемую величину. Поэтому здесь надо применять короткие проводники сечением не менее 4 мм^2 . Зажимы I_1 , E_1 и I_2 , E_2 соединяют попарно перемычками. Прибор устанавливают как можно ближе к магистрали заземления. К зачищенному месту на магистрали привинчивают трубку, соединенную коротким проводником с зажимами I_1 и E_1 . Зажимы I_2 и E_2 соединяют со щупом (напильником или другим).

Измерение производят два испытателя. До измерения необходимо скомпенсировать сопротивление соединительных проводников. Это делается следующим образом. Один испытатель делает надпил в магистрали вблизи трубки и прижимает щуп к магистрали, а второй производит регулировку прибора компенсационным сопротивлением. После этого производят измерения, соблюдая те же предосторожности, что и при измерении сопротивления заземлителей.

При большом расстоянии между испытуемым оборудованием и магистралью заземления измерение производят по схеме рис. 17, б, при которой исключается влияние сопротивления соединительных проводников. Перемычки между зажимами I_1 , E_1 и I_2 , E_2 снимаются. Прибор устанавливается вблизи магистрали заземления и присоединяется к ней двумя короткими проводниками, подключенными к зажимам I_1 и E_1 . К зажимам I_2 и E_2 присоединяют два длинных проводника сечением $1\text{--}1,5 \text{ мм}^2$, вторые концы этих проводников присоединяют к щупу. В этом случае также требуется компенсация сопротивления соединительных проводников.

в) Измерение сопротивления заземляющей проводки при помощи специального омметра типа М372. Омметр типа М372 предназначен для проверки целости цепи сети заземления, измерения ее сопротивления и обнаружения напряжения в аварийном режиме на корпусах оборудования. Это — магнитоэлектрический прибор, со-

бранный по комбинированной схеме омметра и вольтметра, класса точности 1,5. Он позволяет измерять сопротивления до 50 ом и обнаруживать напряжение от 60 до 380 в. В корпусе прибора помещен сухой элемент напряжением 1,4 в, емкостью 1 а·ч, предназначенный для питания схемы омметра. Прибор снабжен ремнем для переноски в рабочем и нерабочем положениях, щу-

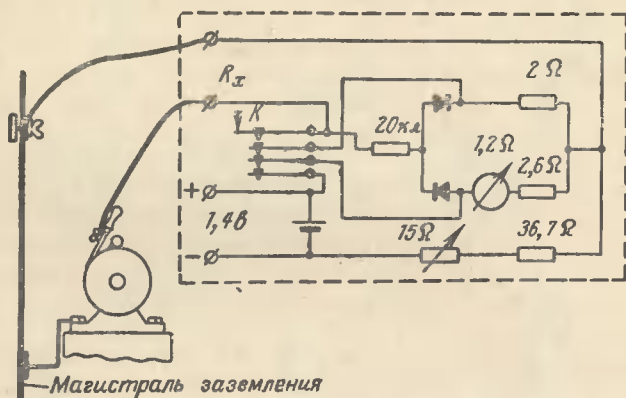


Рис. 18. Схема омметра М372 и его включения для измерения сопротивления заземляющей проводки.

пом с гибким проводником, сопротивление которого должно быть 0,035 ом, и струбиной.

Схема прибора и его включения приведены на рис. 18. Измерение производится одним человеком в следующем порядке.

К предварительно зачищенному участку магистрали заземления привинчивают струбину, которую соединяют с одним из зажимов R_x прибора медным проводом сечением 1,5 мм² и длиной 3 м или сечением 2,5—4 мм² и длиной соответственно 5—8 м. Прибор прикрепляют к ремню, надетому на шею испытателя. Корректором устанавливают стрелку на нуль, затем нажимают кнопку и рукояткой устанавливают стрелку на отметку ∞. Провод щупа присоединяют ко второму зажиму R_x прибора. Коснувшись острием щупа зачищенного места корпуса испытуемого объекта, не нажимая кнопки, проверяют отсутствие на нем напряжения. При отсутствии

напряжения на корпусе нажимают кнопку и производят отсчет измеренного сопротивления.

При наличии напряжения на корпусе испытуемого объекта, нажимать кнопку нельзя во избежание повреждения прибора; прибор может оставаться включенным не более 30 сек.

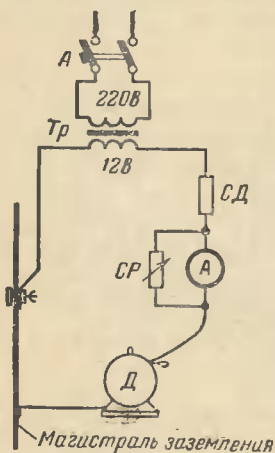


Рис. 19. Схема измерения сопротивления заземляющей проводки при помощи проградуированного амперметра.

Так как для зачистки мест присоединения при приборе всегда должен находиться напильник, целесообразно вместо щупа прибора применять напильник с приваренным к нему зажимом для присоединения провода.

г) Измерение сопротивления заземляющей проводки при помощи проградуированного амперметра. При измерении сопротивления по методу амперметра-вольтметра измеренное сопротивление определяется как отношение падения напряжения на этом сопротивлении к проходящему через него току. При неизменном напряжении измеренное сопротивление может быть определено только по величине тока. Поэтому если пренебречь колебанием напряжения сети, сопротивление заземля-

ющей проводки может быть измерено амперметром, проградуированным в омах.

На рис. 19 приведена схема включения прибора, изготовленного институтом Тяжпромэлектропроект (г. Харьков). Электромагнитный амперметр класса 1,5—2,5 со шкалой до 10 а шунтируется регулируемым сопротивлением СП (0,2 ома, 1 а); последовательно с прибором включается добавочное сопротивление СД (0,8 ом, 10 а). Это позволяет получить растянутую шкалу и подгонять прибор под напряжение сети. Для обеспечения условий безопасности и лучшего выявления плохих контактов измерительная схема включается на напряжение 12 в через понижающий трансформатор Тр 220/12 в.

Прибор комплектуется тремя гибкими проводниками сечением 4 мм², из которых один, соединяющий транс-

форматор с магистралью заземления, имеет длину 3 м и снабжен струбиной на конце, второй — длиной 20 м, предназначен для соединения амперметра с трансформатором, третий — длиной 2 м со щупом на конце, предназначен для присоединения к испытываемому оборудованию.

Амперметр градуируется совместно с проводами и добавочным сопротивлением при напряжении 12 в. Ползун шунтирующего сопротивления при градуировке устанавливается в среднее положение.

Полное отклонение стрелки прибора соответствует току в измерительной цепи порядка 10 а. При необходимости ток может быть увеличен, но при этом амперметр должен включаться через трансформатор тока. Трансформатор с автоматом устанавливается в деревянном ящике, снабженном клеммами и ремнем для переноски; амперметр с сопротивлениями — в другом таком ящике.

Перед измерением струбина привинчивается к зачищенному месту магистрали, щуп прижимается к струбине. Включается автомат А, и при помощи регулировочного сопротивления стрелка прибора устанавливается на нуль — этим прибор подгоняется под фактическое напряжение сети, после чего он готов к действию.

С одного места подключения прибора испытывают оборудование, охватываемое проводами. Чтобы уменьшить влияние колебания напряжения, периодически надо проверять установку стрелки на нуль.

Прибор доступен к изготовлению в любой мастерской или лаборатории и пригоден для массовых проверок целости заземляющей проводки.

При правильном пользовании прибором погрешность измерения не превышает $\pm 20\%$, что вполне достаточно для данной цели.

15. Проверка состояния пробивных предохранителей

Пробивные предохранители применяются для защиты сетей до 1000 в с изолированной нейтралью от появления в них напряжения выше 1000 в при повреждении изоляции между обмотками высшего и низшего напряжения силовых трансформаторов. Защита сетей достигается путем пробоя искровых промежутков про-

бивных предохранителей. Для создания точного пробивного промежутка, обеспечивающего необходимую разрядную характеристику, между электродами пробивного предохранителя располагается слюдяная прокладка определенной толщины с четырьмя отверстиями, через которые происходит разряд.

Надежная работа пробивного предохранителя возможна лишь при его правильной сборке и поддержании в надлежащем техническом состоянии.

Поэтому ПУЭ (I-8-36) требуют обязательной проверки состояния пробивных предохранителей в установках до 1000 в перед вводом в эксплуатацию.

В процессе эксплуатации, при пробое, пробивные предохранители приходят в негодность; возможны их повреждения и по другим причинам.

Для станций и сетей проверка состояния пробивных предохранителей обязательна при вводе в эксплуатацию или ремонте оборудования [Л. 5].

На промышленных предприятиях такая проверка должна производиться при действии сигнализации и при наличии предположения о срабатывании пробивных предохранителей, а также одновременно с осмотром трансформатора (в последнем случае проверка производится только внешним осмотром) [Л. 2].

Проверка состояния пробивных предохранителей производится путем внешнего осмотра и испытаний. При внешнем осмотре необходимо проверить соответствие номинального напряжения пробивного предохранителя напряжению сети, состояние наружной поверхности и внутренних частей и слюдяной прокладки. При этом фарфоровая изоляция должна быть чистой и не иметь трещин, сколов и других дефектов; разрядные поверхности электродов должны быть чистыми, шлифо-

Таблица 7

Основные технические данные пробивных предохранителей — разрядников типа ПП-А/3 (по данным каталога ЦИНТИ 3127-А, 1960)

Исполнение	Номинальное напряжение, в, до	Пробивное напряжение, в, в пределах	Величина разрядных промежутков (толщина слюдяной прокладки), мм
I	220	351— 500	0,08—0,02
II	500	701—1 000	0,21±0,03

ванными, без видимых следов обработки; слюдяная прокладка должна быть целой и иметь толщину, соответствующую данным табл. 7.

При положительных результатах внешнего осмотра пробивной предохранитель собирают и испытывают. Испытание заключается в измерении сопротивления изоляции (мегомметром до 250 в) и проверке разрядной характеристики.

При исправной изоляции проверяется разрядная характеристика путем испытания на пробой током промышленной частоты. Чтобы не повредить пробивной предохранитель при испытании, необходимо ограничить ток пробоя, для чего в цепь испытательного напряжения вводят сопротивление 5 или 10 ком соответственно для пробивных предохранителей I или II исполнения. Испытательное напряжение поднимается плавно до наступления пробоя, затем снижается до нуля, поднимается до 0,75 от пробивного и опять снижается до нуля. Во втором случае пробой не должен наступить. Результаты проверки заносятся в протокол (приложение 2).

Пробивной предохранитель считается исправным, если внешний осмотр дал положительные результаты, сопротивление изоляции составляет не ниже 4 Мом и пробивное напряжение лежит в пределах, указанных в табл. 7.

16. Проверка надежности отключения поврежденного участка сети при замыкании на корпус

В § 2 указывалось, что в электроустановках до 1000 в с глухим заземлением нейтрали безопасность обслуживания электрооборудования при пробое на корпус обеспечивается автоматическим отключением поврежденного участка с минимальным временем.

При замыкании фазного провода на соединенный с нейтралью трансформатора (или генератора) нулевой провод или корпус оборудования образуется контур аварийного тока, состоящий из фазы трансформатора и цепи фазного и нулевого проводов. Этот контур принято называть петлей фаза-нуль, схема замещения которой приведена на рис. 20.

Полное сопротивление петли фаза-нуль

$$Z_{\Pi} = \frac{Z_{\tau}}{3} + Z'_{\Pi}, \text{ ом}, \quad (29)$$

где $\frac{Z_T}{3}$ — полное сопротивление одной фазы питающего трансформатора, *ом* (см. приложение 3);

Z_{Π}' — полное сопротивление цепи, образованной фазным и нулевым проводами, включающее активное сопротивление этих проводов, индуктивное сопротивление цепи, обусловленное определенным расстоянием между этими проводами, сопротивления различных аппаратов, включенных в данную цепь, переходное сопротивление в месте замыкания и др., *ом*.

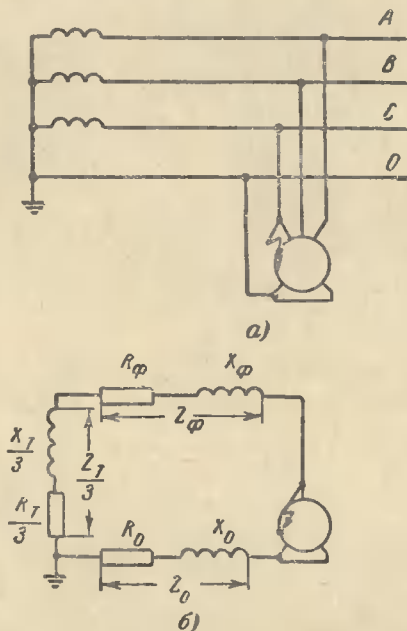


Рис. 20. Петля фаза-нуль (а) и ее схема замещения (б).

Величина Z_{Π} определяется также наличием других путей тока аварийного режима — трубопроводов, металлоконструкций, повторного заземления нулевого провода и т. п. Учесть все эти факты расчетом весьма сложно, при измерении же они все учитываются автоматически.

Проверка надежности и быстроты отключения поврежденного участка сети состоит в следующем. По одному из существующих методов измеряется Z_n ; по измеренной величине Z_n и фазному напряжению сети U_ϕ , пользуясь (30) или (31), вычисляют возможную величину тока однофазного замыкания на корпус I_z . Этот ток сопоставляется с расчетным током срабатывания защиты испытуемого участка сети. Если возможный в данном участке сети ток аварийного режима превышает ток срабатывания защиты с достаточной кратностью (см. ниже), надежность отключения считается обеспеченной.

Ток однофазного замыкания на корпус рассчитывается по формуле

$$I_z = \frac{0,8U_\phi}{Z'_n + \frac{Z_T}{3}}, \text{ а [Л. 6]}, \quad (30)$$

где U_ϕ — фазное напряжение сети, в;

0,8 — коэффициент, учитывающий возможное снижение фазного напряжения в процессе эксплуатации и переходное сопротивление в месте замыкания;

Z'_n и Z_T — см. выше.

Этой формулой пользуются в тех случаях, когда метод испытания позволяет измерить сопротивление петли фаза-нуль без учета сопротивления трансформатора (см. § 17). Если измеряется Z_n с учетом сопротивления трансформатора, то I_z вычисляется по формуле

$$I_z = \frac{0,8U_\phi}{Z_n}. \quad (31)$$

Условием обеспечения надежного и быстрого отключения поврежденного участка является:

$$I_z \geq kI_n, \quad (32)$$

где I_n — номинальный ток плавкой вставки или ток уставки максимального или теплового расцепителя автоматического выключателя, а;

k — коэффициент, равный согласно требованиям ПУЭ:

а) не менее 3 при защите предохранителями или автоматами, имеющими расцепители с обратной зависимой от тока временной характеристикой;

**Значения коэффициента k для определения расчетного тока
отключения защитных аппаратов [Л. 19]**

Защитный аппарат	Элемент, отключающий ток короткого замыкания	Среды невзрывоопасная (ПУЭ, § 1-7-58)	Среды взрывоопасная (ПУЭ, § VII-3-89)
Предохранители	Плавкая вставка	3	4
Установочные автоматы типа АЗ160 и АП50, имеющие только тепловой расцепитель	Тепловой элемент расцепителя	3	6
Установочные автоматы серии АЗ100 с комбинированным или только с электромагнитным расцепителем	Электромагнитный расцепитель мгновенного срабатывания (отсечка) ¹	1,43—для автоматов АЗ110 1,27—для автоматов АЗ120, АЗ130 и АЗ140	
	Тепловой расцепитель (тепловой элемент комбинированного расцепителя)	3	6
Установочные автоматы типа АП50 с комбинированным или только с электромагнитным расцепителем	Электромагнитный расцепитель мгновенного срабатывания (отсечка)	1,4	
	Тепловой расцепитель (тепловой элемент)	3	6
Воздушные автоматы типа АВ, Н и С исполнения (неселективные и селективные) и исполнения Б только с мгновенной отсечкой	Максимальный расцепитель мгновенного срабатывания (отсечка)	1,25	
	Максимальный расцепитель замедленного срабатывания (у автомата Н и С исполнения) ²		

^{1,2} По данным [Л. 19].

б) коэффициенту, учитывающему разброс (по заводским данным), умноженному на коэффициент запаса 1,1 — при автоматах, имеющих только электромагнитный расцепитель (отсекку);

в) при отсутствии заводских данных коэффициент принимается равным: 1,4 для автоматов до 100 а и 1,25 — для прочих автоматов;

г) во взрывоопасных установках: не менее 4 при защите предохранителями и не менее 6 при защите автоматами с обратно зависимой от тока характеристикой, и аналогично п. «б» при автоматах, имеющих только электромагнитный расцепитель.

В табл. 8 приводятся значения коэффициентов k для различных устройств защит.

Следует отметить, что не во всех случаях необходимо учитывать сопротивление трансформатора при измерении Z_n .

Из приложения 3 следует, что чем больше мощность трансформатора, тем меньше его сопротивление. При сочетании мощного трансформатора с линией, имеющей большое сопротивление, влияние сопротивления трансформатора на ток однофазного замыкания может оказаться незначительным. В качестве примера рассмотрим табл. 9, где приведены величины токов однофазного замыкания в конце воздушной линии 380/220 в с учетом сопротивления трансформатора и без него [Л. 7].

Таблица 9

Расчетные значения тока однофазного замыкания
в конце воздушной линии длиной 200 м;
провода алюминиевые сечением
 $3 \times 50 + 1 \times 25$ мм² [Л. 7]

Мощность трансформатора, ква	Ток однофазного замыкания, а	
	С учетом сопротивления трансформатора	Без учета сопротивления трансформатора
50	265	565
100	420	565
180	470	565
320	500	565
560	520	565

Из табл. 9 следует, что сопротивление трансформаторов мощностью до 560 ква существенно уменьшает величину тока однофазного замыкания. Поэтому если

выбрать защиту линии исходя из тока аварийного режима, определенного без учета сопротивления таких трансформаторов, в действительности не будет обеспечено быстрое ее срабатывание или она совсем не срабатывает.

Следовательно, при измерении сопротивления петли фаза-ноль должно учитываться сопротивление трансформаторов мощностью до 560 ква. При длинных линиях сопротивлением более мощных трансформаторов можно пренебречь.

Допускается также не вычислять ток аварийного режима, а оценку надежности срабатывания производить, сопоставляя измеренную величину Z_n с предельно допустимой расчетной величиной $Z_{n.p.}$. В этом случае условием надежности и быстроты отключения аварийного участка является

$$Z_n \leq Z_{n.p.} \quad (33)$$

Расчетное сопротивление петли фаза-ноль определяется по формуле

$$Z_{n.p.} = \frac{U_\phi}{kI_n}. \quad (34)$$

При измерении Z_n схема сетей должна находиться в таком состоянии, как при нормальной эксплуатации: все заземлители и заземляющие проводники — искусственные и естественные, а также повторные заземления нулевых проводов должны остаться присоединенными. Если в процессе нормальной эксплуатации в схеме электрической сети могут происходить временные изменения, при которых сопротивление петли фаза-ноль, остающейся в эксплуатации части сети, возрастает (например, вследствие вывода в плановый ремонт части сети, замены кабелей и т. д.), измерения должны производиться при той из возможных схем сети, при которой Z_n имеет наибольшую величину.

При испытании необходимо проверить, обеспечивается ли надежное отключение поврежденного участка в случае замыкания в любом месте сети. Для этого, однако, не требуется измерять Z_n для всех без исключения электроприемников, а лишь для наиболее мощных и отдаленных от источника питания. Если величина Z_n достаточно мала и обеспечивает надежное отключение этих электроприемников, то для остальных можно от-

раничиться проверкой электрической связи с нейтралью трансформатора или с предварительно проверенным нулевым проводом. В противном случае надо произвести измерение у следующего по мощности и удаленности электроприемника и т. д.

Если точное расстояние неизвестно и трудно оценить влияние обоих факторов (мощности и удаленности), измерения производят у всех электроприемников, вызывающих сомнение.

Так как измерение производится при токе, значительно меньшем тока аварийного режима, измеренные величины сопротивлений получаются несколько больше действительных¹. Поэтому в случаях, когда измеренные величины Z_n оказываются немного выше допустимых, прежде чем браковать заземляющее устройство, необходимо проанализировать результаты испытаний, как описано в § 19.

В соответствии с требованиями ПУЭ измерение полного сопротивления петли фаза-нуль должно производиться для вновь сооружаемых и реконструируемых электроустановок — для наиболее мощных и удаленных электроприемников в объеме не менее 10% их общего количества.

17. Измерение полного сопротивления петли фаза-нуль по методу амперметра-вольтметра с отключением испытываемого оборудования

В тех случаях, когда испытываемое оборудование может быть отключено, например после монтажа или в перерывах эксплуатации, полное сопротивление петли фазный-нулевой провода Z_n можно измерить методом амперметра-вольтметра, при этом должны быть выполнены следующие требования.

Для измерения сопротивления петли какого-либо электроприемника от питающей его линии на всем протяжении должны быть отключены все остальные электроприемники. От всех питающих линий, имеющих общий участок заземляющей магистрали с испытываемой

¹ Учсть, что максимальное сопротивление стальных проводников имеет место при плотностях тока примерно $0,5 \text{ а/мм}^2$. При увеличении плотности тока сопротивление снижается [Л. 6].

линией, должна быть отключена однофазная нагрузка. Все естественные проводники, используемые в заземляющей проводке, например броня кабелей, трубопроводы, металлоконструкции и т. п., а также повторные заземления нулевого провода должны остаться присоединенными. Перед измерением необходимо проверить изоляцию испытываемой цепи.

Измерение по схеме рис. 21 производится на переменном токе, при этом в качестве источника питания может быть использован любой понижающий трансформатор: котельный, сварочный, нагрузочный и т. п. Регулирование тока производится реостатом или регулировочным автотрансформатором (АР). Измерительные приборы должны иметь класс точности 0,5. Вольтметр следует выбрать с пределами измерения 0—7,5—60 в; амперметр — на 5 а с трансформатором тока, либо прямого включения до 20 а. Величина нагрузочного тока выбирается около 10—15 а. Вторичная обмотка понижающего трансформатора присоединяется на подстанции к нулевому проводу и к одному из фазных проводов, как можно ближе к питающему трансформатору Tr , чтобы учесть сопротивление всей испытываемой цепи. Измерительная схема может питаться также от постороннего источника переменного тока.

Для проверки тока к. з. с целью оценки возможности сгорания вставки предохранителей $1П$ один из фазных проводов соединяется с корпусом двигателя $1Д$ в точке 2 с целью создания петли. Рубильник $1Р$ включается, а автомат A и все остальные коммутационные аппараты данной линии (например, рубильник $2Р$) отключаются. Ролик автотрансформатора $АР$ устанавливается в нулевое положение. Пределы измерения вольтметра и трансформатора тока выбираются соответственно ожидаемым величинам напряжения и тока.

Включив рубильник $3Р$, плавно увеличивают ток при помощи автотрансформатора $АР$. Сделав отсчет напряжения U , в, и тока I , а, определяют полное сопротивление петли по формуле:

$$Z'_n = \frac{U}{I}, \text{ ом.} \quad (35)$$

Измеренная величина Z'_n должна быть сложена арифметически с расчетной величиной полного сопротивления одной фазы питающего трансформатора $Z_T/3$, взятой из приложения 3.

Тогда полное сопротивление петли фаза трансформатора — фазный провод — нулевой провод определяется из выражения

$$Z_{\Pi} = Z'_{\Pi} + \frac{Z_{\Gamma}}{3}. \quad (36)$$

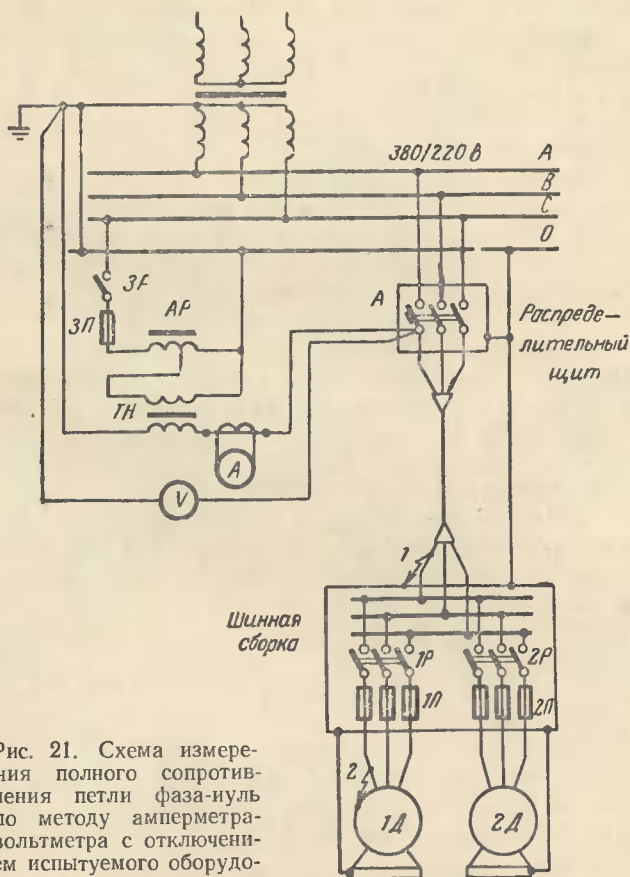


Рис. 21. Схема измерения полного сопротивления петли фаза-нуль по методу амперметра-вольтметра с отключением испытываемого оборудования.

Для проверки отключения автомата A , ближайшего к трансформатору Tr (например, установленного на щите до 1000 в подстанции), фазный провод присоединяют к корпусу сборки зажимов в точке 1, все рубильники или автоматы за автоматом A должны быть от-

ключены, а автомат A — включен. Фазный провод, с которым производится опыт, отключается от выводов трансформатора Tr и к нему присоединяется вывод вторичной обмотки трансформатора $TН$. Измерительная схема в этом случае должна питаться или от постороннего источника, либо от другой фазы, подключенной к обмотке трансформатора Tr , с соблюдением необходимых мер предосторожности.

Описанный метод не требует специальной аппаратуры и дает достаточно точные результаты. В то же время он обладает рядом существенных недостатков, главными из которых являются:

а) необходимость отключения питающей линии, к которой присоединен испытуемый электроприемник, что иногда требует остановки цеха или даже предприятия;

б) необходимость отключения однофазных нагрузок всех питающих линий, имеющих общий участок заземляющей магистрали с испытуемой линией;

в) выполнение измерения без учета величин сопротивления участка ошиновки от автомата A распределительного щита подстанции до трансформатора Tr и сопротивления току однофазного замыкания самого трансформатора, которое берется из приложения 3, затем прибавляется к измеренной величине;

г) сложность организации работ, так как испытуемые электроприемники находятся на значительных расстояниях от подстанции, и требуется организация связи при измерении.

Указанные недостатки ограничивают применение данного метода и делают его затруднительным в предприятиях с трехсменной работой (надо сочетать со временем ремонта цеха).

В практике пуско-наладочных организаций и заводских лабораторий все большее применение получают методы, не требующие отключения испытуемого оборудования и позволяющие значительно ускорить испытания.

К таким методам, в частности, относятся метод преобразованного напряжения и метод вспомогательного напряжения, предложенные канд. техн. наук И. М. Тер-Оганесяном [Л. 6, 10—12, 14]. На методе преобразованного напряжения основан принцип работы прибора для испытания заземления типа ИЗ-58 УЭЧМ, выпускаемый Укрэнергочерметом, а на методе вспомога-

ного напряжения — принцип работы прибора, изготовляемого Ростовским Институтом инженеров железнодорожного транспорта — РИИЖТ (г. Ростов-на-Дону).

18. О проверке надежности срабатывания защиты путем устройства короткого замыкания при полном напряжении сети

Если непосредственно у испытуемого электроприемника замкнуть фазу на его корпус при полном напряжении сети, в петле фаза-нуль пройдет действительный ток однофазного замыкания на корпус, при этом действие защиты будет проверено в естественных условиях и никакие дальнейшие расчеты не потребуются.

Заманчивость этого метода приводит к тому, что в некоторых местных инструкциях он рекомендуется к применению.

Однако такой метод не может быть рекомендован по следующим соображениям:

а) в случае обрыва нулевого провода подача на корпус электроприемника фазного напряжения приведет к появлению этого напряжения на всем поврежденном участке нулевого провода и связанных с ним корпусах оборудования, что недопустимо по условию техники безопасности. При этом защита не сработает, так как тока в цепи не будет или он будет мал;

б) при исправности петли фаза-нуль плавкие вставки предохранителей, выбранные по условиям отстройки от пусковых токов и обеспечения селективности, могут перегореть за несколько секунд, а в случае неправильного выбора предохранителей — десятков секунд. На протяжении всего этого времени изоляция сети будет перегреваться током короткого замыкания, что приведет к ее ускоренному износу;

в) создание подобного аварийного режима всегда связано с пожарной опасностью;

г) подобные эксперименты абсолютно недопустимы в установках взрывоопасных и пожароопасных.

19. Анализ результатов испытаний

Проверка надежности отключения поврежденного участка сети при замыкании на корпус является наиболее серьезным этапом испытаний, так как на основании косвенных измерений при сравнительно малых токах необходимо сделать заключение о том, как будет дей-

ствовать защита в аварийном режиме. Поэтому результаты измерений должны быть подвергнуты тщательному анализу.

Прежде всего необходимо оценить погрешность измерения и за действительное значение измеренной величины принять результат измерения, с учетом погрешности.

Если измеренная величина $Z_{п.изм}$ с учетом погрешности окажется ниже расчетной и, следовательно, определена с известным запасом (см. § 16), надежность отключения поврежденного участка в аварийном режиме можно считать обеспеченной; если же измеренная величина $Z_{п.изм}$ равна или больше расчетной, следует считать, что данная петля фаза-нуль такой надежности не обеспечивает. В этом случае измерение следует повторить и, если результат не изменится, его необходимо подвергнуть анализу.

При проверке петли группы электроприемников в случае, если измеренная величина $Z_{п.изм}$ оказывается равной или больше расчетной, прежде чем браковать устройство сети, необходимо проверить правильность выбора плавких вставок предохранителей или уставок расцепителей автоматов. Опыт испытаний показал, что во многих случаях, когда ток однофазного замыкания для группы электроприемников, определенный по результатам измерений, оказывался меньше уставки защиты ($Z_{п.изм} > Z_{п.расч}$) и, следовательно, защита не должна была сработать, удавалось снизить уставку защиты, которая обеспечивала пуск объекта и надежно срабатывала при замыкании на корпус. Причина заключалась в необоснованно завышенной расчетной величине уставки защитных устройств.

Неправильный выбор защитных устройств не исключен и у одиночных электроприемников.

Если защитное устройство выбрано правильно, а фактическая величина $Z_{п}$ оказывается все же больше допустимой, то прежде чем ставить вопрос об усилении фазного или нулевого проводов, необходимо измерить $R_{п}$ и вычислить $X_{п}$. Активную составляющую сопротивления $R_{п}$ можно измерить мостом постоянного тока, а реактивную составляющую $X_{п}$ вычислить по формуле

$$X_{п} = \sqrt{Z_{п.изм}^2 - R_{п.из}^2},$$

где $R_{п.из}$ — сопротивление постоянному току петли.

Если при этом окажется, что увеличение Z_n произошло за счет величины X_n , то увеличение сечения проводов не даст желаемого эффекта, а нужно принимать другие меры, например уменьшить расстояние между нулевым и фазным проводами.

В некоторых случаях защита, выбранная из условий запуска двигателей, не может обеспечить отключение при однофазном замыкании на корпус. Такой случай может быть, например, при защите асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, питающегося от трансформатора соизмеримой с ним мощности. Увеличение сечения нулевого провода здесь не обеспечит срабатывания защиты. Для таких случаев ПУЭ (I-7-58) рекомендуют применять специальные защиты. Можно, например, применять защиту от замыкания на землю с воздействием на отключающую катушку автомата, и др.

Только тщательный анализ результатов измерений сопротивления Z_n в сочетании с проверкой правильности выбора защитных устройств позволяет сделать заключение о надежности срабатывания защиты при однофазном замыкании на землю.

После выполнения расчетов и анализа результатов измерений эти результаты заносят в рабочую тетрадь, затем разбирают схему измерения. Окончательный результат заносят в протокол (см. приложение 4).

Оформление результатов испытаний. Итогом всей работы по испытаниям заземляющих устройств является заключение о техническом состоянии и пригодности их к эксплуатации. Это заключение может быть сделано на основании совокупности всех испытаний, сравнения результатов испытаний с действующими нормами и результатами предыдущих испытаний.

Результаты испытаний оформляются в виде технического отчета, включающего: пояснительную записку, протоколы обследования заземляющего устройства, протоколы испытаний, приложение схемы испытаний, графики, таблицы и т. п.

В пояснительной записке указывается цель испытаний, период выполнения работ, напряжение электроустановки, режим нейтралей (изолированные или заземленные), назначение и тип заземляющего устройства, его конструктивные особенности и техническое состояние, расчетные данные, связанные с испытаниями (например, проверочный расчет сопротивления заземляюще-

го устройства, величина тока замыкания на землю и т. д.), объем и методика испытаний, анализ результатов испытаний, выводы и рекомендации.

Для мелких объектов пояснительную записку можно не составлять; тогда приведенные выше сведения должны указываться в протоколах обследования и испытаний.

Обнаруженные при испытаниях дефекты заземляющих устройств сообщают монтирующей организации или эксплуатационному персоналу для устранения. Если дефекты в период испытаний не устраняются, они заносятся в сводную ведомость дефектов, прилагаемую к техническому отчету.

Формы протоколов испытания заземляющих устройств утверждаются руководством организации, производящей испытания, и не могут произвольно изменяться исполнителями.

Штамп
организации, производившей
испытание
Дата испытания

Предприятие _____

Объект _____

Протокол № _____

измерения сопротивления заземлителя и заземляющего устройства

Данные сети	Сторона высшего напряжения	Сторона среднего напряжения	Сторона низшего напряжения
Напряжение сети, в . . .			
Состояние нейтрали . . .			

Характеристика заземляющего устройства и результаты внешнего осмотра _____

Характеристика грунта и его состояние _____

Метеорологические данные _____

Принят коэффициент увеличения сопротивления грунта

№ п/п.	Объект измерения (заземлитель или заземляющее устройство) и его назначение	Точка измере- ния	Сопротивле- ние по норме, ом	Результаты измере- ния сопротивления, ом	
				измерен- ное	приведен- ное

Измерения произведены (метод, приборы) _____

Расстояния: а) между испытуемым заземлителем и зондом _____ м; б) между зондом и вспомогательным заземлителем _____ м; в) между испытуемым и вспомогательным заземлителем _____ м.

Заключение: _____

Измерение произвели: _____ Руководитель работ _____

Штамп
организации, производившей
испытание
Дата испытания

Предприятие _____
Объект _____

ПРОТОКОЛ № _____

ПРОВЕРКИ СОСТОЯНИЯ ПРОБИВНОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ

Пробивной предохранитель № _____ установлен _____

(в нейтральной или фазе) трансформатора № _____ мощностью _____ кВа ,
напряжением _____ кВ, соединение обмоток _____

1. Пробивной предохранитель подвергнут наружному осмотру и проверке мегомметром _____ В _____ (результаты

осмотра и проверки)

2. Пробивной предохранитель разобран и подвергнут внутреннему осмотру; результаты осмотра _____ (перечислить состояние

всех внутренних частей, указать измеренную толщину слюдяной прокладки)

3. Пробивной предохранитель собран и испытан:

а) мегомметром _____ В, сопротивление изоляции _____ Мом

б) на пробой повышенным напряжением промышленной частоты; пробой наступил при напряжении _____ В.

Напряжение снижено до нуля и опять поднято до _____ В
(0,75 от пробивного), при этом пробой не наступил.

4. Заключение: _____

Проверку
произвели: _____

Руководитель
работ _____

Величины расчетного сопротивления трансформаторов
со схемой соединения Δ/Δ для обмоток 380/220 в¹

Тип трансформатора	Мощность трансформатора, <i>кВа</i>	Расчетное сопротивление одной фазы обмотки силового трансформатора со схемой соединения звезда/звезда, <i>ом</i>		
		активное $\frac{r_T}{3}$	реактивное $\frac{x_T}{3}$	полное $\frac{z_T}{3}$
ТМ-20	20	0,51	1,359	1,452
ТМ-30	30	0,599	0,829	1,023
ТМ-50	50	0,329	0,643	0,722
ТМА-60	60	0,545	0,581	0,797
ТСМА-60	60	0,223	0,461	0,512
ТМ-100	100	0,168	0,316	0,358
ТМА-100	100	0,414	0,373	0,557
ТСМА-100	100	0,229	0,327	0,399
ТМ-180	180	0,1053	0,1743	0,204
ТМ-320	320	0,0643	0,098	0,117
ТМ-400	400	0,0589	0,0883	0,106
ТМФ-400	400	0,0649	0,097	0,117
ТМ-560	560	0,0496	0,0693	0,087
ТМ-630	630	0,0478	0,0671	0,082
ТМФ-630	630	0,0531	0,0737	0,091
ТМ-750	750	0,0353	0,0469	0,059
ТМ-1000	1000	0,0251	0,0334	0,042
ТМА-1000	1000	0,0414	0,0524	0,067
ТМАФ-1000	1000	0,0447	0,0574	0,073

¹ Расчет величин r_T , x_T и z_T выполнен П. И. Слеваковым [Л. 18].

Штамп
организации, производившей
испытание
Дата испытания

Предприятие _____
Объект _____

ПРОТОКОЛ № _____
ПРОВЕРКИ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕТЛИ
ФАЗА-НУЛЬ

Характеристика питающей сети _____

(Напряжение, мощность трансформатора)

№ п/п.	Наименование защищаемого элемента	Способ или средство защи- ты ¹	Номинальный ток обратно за- висимой защиты или ток отсеч- ки, а	Расчетный мини- мальный ток срабатывания защиты, а	Максимально допустимая ве- личина сопро- тивления $Z_{пр}$, Ом	Измеренное со- противление $Z_{п, Ом}$, или ток к. з., а ²
1	2	3	4	5	6	7

Заключение:

а) Сопротивление петли выше норм имеют объекты, ук-
занные в позициях № _____

б) Сопротивление петли всего остального оборудования
в норме.

Испытание
произвели: _____

Руководитель
работ _____

¹ В столбце «Способ защиты» писать:

а) в случае плавкой вставки — «Плавкая вставка»;

б) в случае тепловой защиты — «Нагревательный элемент № _____»;

в) в случае отсечки — «Отсечка к автомату $I_H = \text{_____}$ »

² Графа заполняется в зависимости от метода оценки петли
(по току к. з. или по сопротивлению). В случае оценки петли
по току к. з. графа б не заполняется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок, изд-во «Энергия», 1965.
2. Правила технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий, Днепропетровск, изд-во «Промінь», 1966.
3. Разъяснения к «Правилам технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий» (объединенный выпуск), изд-во «Энергия», 1964.
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей, изд-во «Энергия», 1964.
5. Объем и нормы испытания электрооборудования, изд-во «Энергия», 1964.
6. Найфельд М. Р., Заземления и защитные меры безопасности, изд-во «Энергия», 1965.
7. Найфельд М. Р., Защитные заземления в электротехнических установках, Госэнергоиздат, 1956.
8. Лурье А. И., Испытание заземляющих устройств электрических установок, Госэнергоиздат, 1950.
9. Гомберг А. Е., Измеритель заземления, Госэнергоиздат, 1961.
10. Тер-Оганесян И. М., Метод испытания заземляющих устройств электросилового оборудования без отключения от сети, «Промышленная энергетика», 1951, № 3.
11. Тер-Оганесян И. М., Прибор для испытания зануляющих устройств по методу преобразованного напряжения, ВИНТИ, тема 26, 1957.
12. Тер-Оганесян И. М., К вопросу измерения сопротивления петли фаза-нуль. «Промышленная энергетика», 1961, № 7.
13. Черный И. А., Измерение сопротивления защитных зануляющих контуров под напряжением методом вольтметра, «Промышленная энергетика», 1960, № 11 и 1963, № 2.
14. Ткаченко А. А., Пилипенко П. В., Прибор типа ИЗ-58 УЭЧМ для испытания зануляющих устройств в сетях 380/220 в с глухозаземленной нейтралью трансформаторов, «Промышленная энергетика», 1960, № 2.
15. Ослон А. Б., Об измерении сопротивлений заземления, «Электричество», 1957, № 2.
16. Якобс А. И., Сутин А. Г., О необходимости пересмотра действующих рекомендаций по измерению сопротивления заземлителей, «Электрические станции», 1965, № 5.
17. Якубовский Ю. В., Лях Л. Л., Электроразведка, изд-во «Недра», 1964.
18. Спевиков П. И., Определение расчетного сопротивления петли зануления, «Электричество», 1965, № 9.
19. Спевиков П. И., Проверка автоматического отключения кабелей в сетях напряжением до 1000 в с глухим заземлением нейтрали, «Светотехника», 1965, № 6.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
I. Основные сведения о заземляющих устройствах и их испытаниях	4
1. Прохождение тока в земле и заземляющие устройства	4
2. Защитное действие заземляющих устройств	9
3. Основные сведения об испытаниях	15
II. Измерение сопротивления заземляющих устройств	19
4. Условия измерения и электроды	19
5. Метод амперметра-вольтметра	26
6. Измерение при помощи измерителя заземления типа МС-08	31
III. Определение распределения потенциалов на поверхности земли и измерение удельного сопротивления грунта	37
7. Основные сведения об определении распределения потенциалов	37
8. Методы определения распределения потенциалов	39
9. Определение выноса потенциалов	42
10. Основные сведения об измерении удельного сопротивления грунта	43
11. Измерение удельного сопротивления грунтов по методу контрольного электрода	44
12. Измерение удельного сопротивления грунтов по методу вертикального электрического зондирования (ВЭЗ)	46
IV. Проверка сети заземления и надежности отключения поврежденных электроустановки	50
13. Проверка состояния элементов заземляющего устройства	50
14. Проверка наличия цепи между заземлителями и заземляемыми элементами	54
15. Проверка состояния пробивных предохранителей	59
16. Проверка надежности отключения поврежденного участка сети при замыкании на корпус	61
17. Измерение полного сопротивления петли фаза-нуль по методу амперметра-вольтметра с отключением испытуемого оборудования	67
18. О проверке надежности срабатывания защиты путем устройства короткого замыкания при полном напряжении сети	71
19. Анализ результатов испытаний	71
Приложения	75
Литература	79

Опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
18	1 снизу	глухозаземленной нейтралью	глухозаземленной нейтралью . . . 4
18	7—6 снизу	установок — не реже 1 раза в год [Л. 2]; в благоприятное время года должны повторяться. Резуль- таты этих	установок — не реже 1 раза в год [Л. 2]. Результаты этих
22	Таблица 1 3 столбец 5 строка	$r_{xB}=r_{x3}=r_{B3}\geq 20 \text{ м}$	$r_{xB}=r_{x3}=2r_{B3}\geq 20 \text{ м}$

Заказ 1116

Цена 16 коп.