

Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

А. Е. ГОМБЕРГ

Измерения

**ИЗМЕРИТЕЛЬ
ЗАЕМЛЕНИЯ**

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ



„БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА“

Выпуск 60

А. Е. ГОМБЕРГ

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЗАЗЕМЛЕНИЯ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В., Каминский Е. А.,
Смирнов А. Д., Устинов П. И.

ЭЭ-3-3

В брошюре описан измеритель заземления типа МС-08 завода «Энергоприбор», а также даны правила пользования им при проверках состояния заземляющих устройств.

Кратко описаны и другие способы проверки заземляющих устройств.

Брошюра предназначена для электромонтеров, обслуживающих электроустановки и контролирующих качество монтажа заземляющих устройств.

6П2.1.08 *Гомберг Александр Ефимович*

Г 64 **Измеритель заземления.** М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.
40 с. с черт. (Б-ка электромонтера. Вып. 60)

6П2.1.08

Редактор *Ю. С. Пинталь*

Техн. редактор *Н. И. Боруное*

Сдано в набор 29/VIII 1961 г.

Подписано к печати 14/XI 1961 г.

Т-12321

Бумага 84×108^{1/2}

2,05 печ. л.

Уч.-изд. л. 2

Тираж 15 000 экз.

Цена 7 коп.

Зак. 540

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб. Ю.

ВВЕДЕНИЕ

Безопасные условия работы в установках сильного тока достигаются главным образом двумя техническими мероприятиями, предотвращающими поражение человека электрическим током: изоляцией токоведущих частей и созданием надежных заземлений.

Электрическая изоляция отделяет части электроустановок, находящиеся под напряжением, от частей или элементов, которые нормально не должны быть под напряжением.

Однако при повреждении электрической изоляции ранее изолированные элементы могут оказаться под напряжением и человек, случайно прикоснувшись к ним, может быть поражен электрическим током [1, 2]. Чтобы предупредить такие случаи, в электротехнических установках сильного тока предусматриваются заземляющие устройства.

Часто эти устройства сами являются элементами защиты изоляции от повреждений (заземления устройств грозозащиты, заземления нейтралей трансформаторов) или используются для улучшения работы релейной защиты, обеспечивая более высокую чувствительность и четкость ее действия.

Заземляющие устройства являются весьма ответственными элементами электроустановок, поэтому во время их сооружения, а также в процессе эксплуатации необходим контроль за их состоянием. Этой цели служат специальные приборы, при пользовании которыми необходимо соблюдать определенные правила, с тем чтобы обеспечить требуемую точность измерений.

Заземляющее устройство можно подразделить на три основных элемента, каждый из которых характеризуется своими показателями.

Первый элемент — сама земля или, точнее, грунт. электропроводные свойства которого оцениваются его удельным сопротивлением.

Удельное сопротивление грунта — это сопротивление между противоположными плоскостями кубика грунта, имеющего ребро длиной 1 см. Оно обозначается греческой буквой ρ (ρ) и измеряется в омега-сантиметрах ($\text{ом} \cdot \text{см}$).

Удельное сопротивление сильно зависит от степени влажности и температуры грунта, и поэтому оно может значительно изменяться в течение года [Л. 3 и 4].

Второй элемент — заземлители. Заземлителем называется электрод или несколько связанных между собой электродов, находящихся в земле и обеспечивающих электрический контакт между заземляемыми объектами и грунтом. Группа соединенных заземлителей образует контур заземления.

Основной характеристикой заземлителя является сопротивление растеканию тока, т. е. то сопротивление, которое оказывает току земля на участке его растекания.

Под участком растекания здесь подразумевается окружающая электроды область грунта, на границе которой плотность тока настолько мала, что потенциал земли практически не зависит от величины стекающего с электродов тока и поэтому всегда вне этой границы он может быть принят равным нулю.

Для одиночного вертикального заземлителя участок растекания (по поверхности земли) составляет примерно 20 м. Для горизонтальных и групповых заземлителей он может быть значительно больше.

Сопротивление растеканию заземлителя, или, как мы будем сокращенно говорить, сопротивление заземлителя, зависит от глубины залегания электродов, от их формы, количества, размеров, от способа соединения отдельных электродов и, естественно, от удельного сопротивления грунта.

Третьим элементом заземляющего устройства являются проводники, расположенные на поверхности земли и осуществляющие электрическую связь между отдельными группами электродов и заземляемым оборудованием.

Магистральные проводники обычно выполняются из

стали и связываются между собой и с контурами заземления электросваркой. Присоединение заземляющих проводников к объектам, подлежащим заземлению, производится на болтах, реже — на сварке.

Качество всех соединений характеризуется механической прочностью и величиной электрического сопротивления цепи от заземляемого объекта до контура заземления.

1. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Для измерения сопротивления заземления применяют приборы, использующие один из следующих методов:

- а) метод амперметра — вольтметра;
- б) компенсационный метод;
- в) мостовой метод.

Эти приборы должны удовлетворять следующим требованиям: измерять сопротивления в пределах от сотен ом до десятых и даже сотых долей ома; давать отчет непосредственно по шкале прибора; иметь собственный источник питания; допускать измерения при наличии блуждающих переменных и постоянных токов¹; погрешность не должна превышать 5%.

Кроме того, прибор должен быть портативен и удобен для работы в полевых условиях.

Метод амперметра — вольтметра

Метод амперметра — вольтметра основан на использовании известного из курса электротехники соотношения

$$R = \frac{U}{I}, \quad (1)$$

являющегося математическим выражением закона Ома.

В формуле (1) R , ом — сопротивление участка электрической цепи, на котором при протекании тока I , а происходит падение напряжения U , в. Чтобы опреде-

¹ Блуждающими называют токи в земле, ответвившиеся от сети постоянного тока. Обычно это токи электрифицированных железных дорог, метро и т. п., у которых в качестве обратного привода используются рельсы. Часть обратного тока, помимо рельса, идет по земле, иногда значительно удаляясь от трассы железной дороги.

Иногда блуждающими токами называют и переменные токи в земле, появляющиеся в результате несимметричных нагрузок или несимметричных повреждений в сетях. Часто большие токи в земле появляются при работе электросварочных агрегатов.

лить сопротивление заземлителя, надо пропустить через него определенный ток и измерить падение напряжения на участке растекания. После этого произвести простое вычисление по формуле (1).

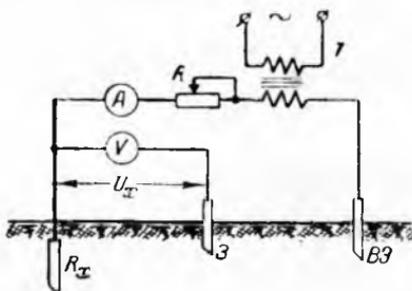


Рис. 1. Измерение сопротивления заземлителя методом амперметра—вольтметра.

Для этого можно воспользоваться схемой по рис. 1. В землю забиваются два электрода: вспомогательный ВЭ и зонд З. Последний должен быть удален от заземлителя настолько, чтобы он располагался в зоне нулевого потенциала; расстояние от вспомогательного электрода ВЭ до зонда З — не менее 10 м

(о размещении электродов см. еще рис. 9 и 10).

Если расположить зонд ближе к заземлителю, то мы измерим не все падение напряжения на участке растекания, а лишь его часть, отличающуюся от полного на величину ΔU . Поэтому измерения дадут заниженное значение сопротивления заземлителя:

$$R_{\text{изм}} = \frac{U_x - \Delta U}{I} < \frac{U_x}{I}. \quad (2)$$

Трансформатор T служит здесь для того, чтобы разделить силовую цепь (источник электроэнергии) от схемы измерения и от земли. Часто для этой цели используют трансформаторы безопасности со вторичным напряжением 36 или 12 в или сварочные трансформаторы. Реостат P позволяет плавно регулировать величину тока. Вольтметр V должен иметь достаточно большое внутреннее сопротивление. Дело в том, что последовательно с вольтметром (рис. 1) включено сопротивление растеканию тока с зонда R_3 . Если сопротивление R_3 будет иметь величину, близкую к сопротивлению самого вольтметра R_V , то погрешность измерения будет весьма значительной. Ее можно вычислить [Л. 4] по формуле

$$\Delta R_x \% = - \frac{R_3}{R_V + R_3} \cdot 100, \quad (3)$$

где знак минус означает, что погрешность отрицательная, т. е. результат измерения будет преуменьшен.

Например, если $R_3 = 1\,000$ ом и сопротивление вольтметра $R_V = 1\,000$ ом, то

$$\Delta R_x = - \frac{1\,000}{1\,000 + 1\,000} \cdot 100 = -50\%.$$

Кроме того, следует иметь в виду, что цепь вольтметр — зонд в этой схеме шунтирует цепь заземлитель — земля — вспомогательный электрод. Поэтому амперметр будет показывать полный ток в земле и в цепи вольтметра, что также скажется на точности измерения. Однако это становится ощутимым лишь тогда, когда сопротивление заземлителя составляет 50—100 ом или более, а сопротивление цепи вольтметр — зонд меньше 2 000 ом.

Питание схемы постоянным током недопустимо, так как при этом у электродов в земле будут накапливаться ионы, имеющие знак, противоположный полярности электрода (это явление называется гальванической поляризацией), и образуется противо-э. д. с. В результате у электродов произойдет местное повышение падения напряжения.

При переменном токе это явление практически отсутствует.

Описанный выше способ измерения сопротивления заземления имеет следующие недостатки:

а) Необходимо пользоваться одновременно двумя измерительными приборами, а потом производить расчет.

б) Для того чтобы получить достаточно точные результаты измерений, нужен источник довольно значительного по величине тока (десятки ампер) с хорошей стабилизацией, чтобы обеспечить возможность снятия показаний двух приборов: амперметра и вольтметра.

в) Большой ток может явиться источником дополнительной погрешности, так как при большой плотности переменного тока происходит возрастание полного сопротивления стальных проводников по сравнению с сопротивлением этих же проводников постоянному току. Наибольшее полное сопротивление имеет место при плотностях 0,05—0,15 а/мм² [Л. 3].

г) Вольтметр должен иметь достаточно большое внутреннее сопротивление.

д) Блуждающие переменные и постоянные токи в земле могут внести дополнительную и иногда существенную погрешность при измерениях.

Компенсационный метод

Широкое распространение получили различные приборы и схемы, основанные на так называемом компенсационном методе измерения заземлений.

При измерении по этому методу, помимо основной цепи тока в земле, создается еще другая цепь — на специальном калиброванном сопротивлении. При этом схема выполнена так, что по калиброванному сопротивлению протекает такой же ток, как в земле. Изменением величины калиброванного сопротивления можно добиться такого положения, что падение напряжения на этом заранее известном калиброванном сопротивлении будет таким же, как и на участке протекания тока в земле.

Рассмотрим схему на рис. 2,а.

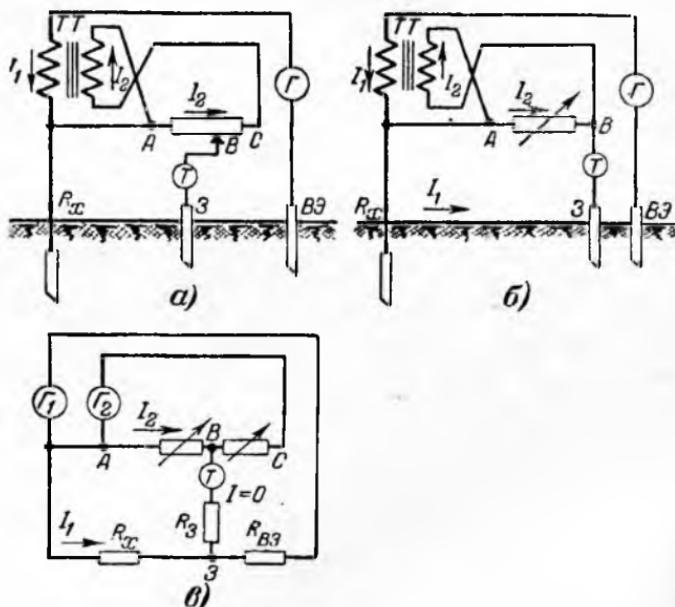


Рис. 2. Измерение сопротивления заземления компенсационным методом.

а — схема с постоянной нагрузкой во вторичной цепи; б — схема с переменной нагрузкой; в — схема замещения.

Генератор переменного тока G подключен к вспомогательному электроду $BЭ$ и через первичную обмотку трансформатора тока $ТТ$ к заземлителю. Вторичная обмотка трансформатора тока включена на специальное калиброванное сопротивление ABC . Коэффициент трансформации трансформатора тока равен $n_T=1/1$, поэтому во вторичной цепи потечет ток $I_2=I_1$. Нулевой индикатор T подключен с одной стороны к зонду $З$, а с другой — к подвижному контакту B сопротивления ABC . В этой схеме всегда можно найти такое положение подвижного контакта B на сопротивлении ABC , при котором ток в нулевом индикаторе T будет отсутствовать. При этом будет иметь место равенство

$$U_x = I_1 R_x = U_{AB} = I_2 R_{AB}. \quad (4)$$

Поскольку $I_1 = I_2$, из равенства (4) следует:

$$R_x = R_{AB}.$$

Подвижный контакт B снабжен шкалой, по которой можно всегда определить величину сопротивления R_{AB} .

Как видно, в этом приборе достаточно с помощью индикатора T добиться состояния баланса цепи, после чего прямо по шкале сопротивления ABC можно определить величину сопротивления заземления.

Из равенства (4) следует, что результаты измерения не зависят от величины тока, поэтому колебания тока в процессе балансировки не сказываются на точности измерений. Однако надо иметь в виду, что легче уловить сбалансированное состояние схемы при больших токах. Достаточную чувствительность может обеспечить небольшой переносный генератор переменного тока с ручным приводом.

В качестве нулевого индикатора может быть использован телефон.

Для расширения пределов измерений на трансформаторе тока $ТТ$ ставят переключатель, изменяющий коэффициент трансформации. Если изменить коэффициент трансформации в 10 раз, т. е. принять $n_T=1/10$, то $I_2=10 I_1$ и при балансе схемы из равенства (4) получим:

$$R_x = 10 R_{AB}.$$

При $n_T=10/1$ получим $R_x=0,1 R_{AB}$. Тем самым существенно расширяется диапазон измерений сопротивлений заземлителей.

Построенные на этом принципе приборы выпускались промышленностью и имели широкое распространение. К ним можно отнести измерители ИЗ-4 (ЦЛЭМ Мосэнерго), ИЗГ (Центральная лаборатория автоматики Министерства металлургической промышленности), ИЗ-2 (Министерство связи), испытатель заземления ЛЭТИ (Ленинградский электротехнический институт им. Ульянова-Ленина) и др.

Важным преимуществом этих приборов является отсутствие тока в нулевом индикаторе при сбалансированной схеме. В силу этого отсутствует ток и в зонде и поэтому безразлична величина сопротивления зонда и индикатора. Однако следует иметь в виду, что при увеличении сопротивления зонда чувствительность прибора снижается и труднее становится определить положение контакта B , соответствующее состоянию баланса в схеме.

Если в качестве индикатора используется телефон, то прибор нечувствителен к блуждающим постоянным токам. Однако блуждающие переменные токи могут внести погрешность в измерения. Правда, обычно в подобных приборах используются генераторы, вырабатывающие напряжение переменного тока с частотой порядка 1 000 гц, ибо к этой частоте наиболее чувствительно ухо. Блуждающие же токи имеют частоту 50 гц. При известных навыках эти звуки можно различить на слух.

Следует отметить, что и при отсутствии помех практически невозможно сбалансировать схему полностью, ибо ток I_2 не совпадает по фазе с током I_1 . Поэтому если прибор не имеет специального дополнительного устройства для компенсации углового сдвига, следует настраиваться не на полное исчезновение звука в телефоне, а на минимальную слышимость.

Нашей промышленностью (завод № 19 Министерства связи) выпускался весьма портативный и простой прибор, собранный по схеме на рис. 2,б. В схеме на рис. 2,б участок сопротивления $R_{BC}=0$. В остальном схема идентична рис. 2,а. Некоторым преимуществом схемы на рис. 2,а является постоянство нагрузки измерительного трансформатора тока — сопротивления R_{AB} . Особенностью прибора являлось использование в качестве

генератора переменных импульсов электромагнитного прерывателя — зуммера, питаемого от батареи гальванических элементов.

На рис. 2,в изображена схема замещения приборов на рис. 2,а и б. Вместо трансформатора тока здесь стоит второй генератор I_2 .

Мостовой метод

Мостовой метод, как говорит его название, использует для целей измерения линейный мост переменного тока. Производят три измерения: при первом в измерительное плечо моста включают цепь заземлитель — вспомогательный электрод, при втором — цепь заземлитель — зонд, а при третьем — цепь зонд — вспомогательный электрод. Следовательно, первое измерение даст сумму двух сопротивлений: заземлителя R_x и вспомогательного электрода R_B , второе — также R_x и сопротивление зонда R_3 , а третье — R_3 и R_B .

Три измерения позволяют составить три уравнения с тремя неизвестными:

$$R_1 = R_x + R_B;$$

$$R_2 = R_x + R_3;$$

$$R_3 = R_3 + R_B.$$

Решение системы трех уравнений дает возможность определить все неизвестные: R_x , R_3 и R_B :

$$\left. \begin{aligned} R_x &= \frac{R_1 + R_2 - R_3}{2}, \\ R_3 &= \frac{R_2 + R_3 - R_1}{2}, \\ R_B &= \frac{R_3 + R_1 - R_2}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Этот метод является, как видно, неудобным, так как необходимо производить три измерения, и недостаточно точным. Блуждающие токи в этом случае оказывают значительное влияние, а иногда вообще делают измерения невозможными.

Из описанных выше методов наиболее точным является метод амперметра — вольтметра. При наличии хороших и правильно подобранных приборов и при правильно поставленных опытах метод амперметра — вольтметра является лучшим для производства ответственных измерений. Пользуясь этим методом, можно с достаточной точностью снять и картину изменения потенциала по поверхности земли вблизи заземлителя.

Этот метод используется в приборе, выпускаемом нашей промышленностью в настоящее время.

2. ИЗМЕРИТЕЛИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЗАВОДА «ЭНЕРГОПРИБОР»

В настоящее время завод «Энергоприбор» Московского городского совнархоза выпускает измеритель заземления типа МС-08, который принципиально не отличается от ранее выпускавшегося измерителя МС-07 (рис. 3).

Измерители МС-07 и МС-08 являются удобными, достаточно портативными приборами. Они обладают су-

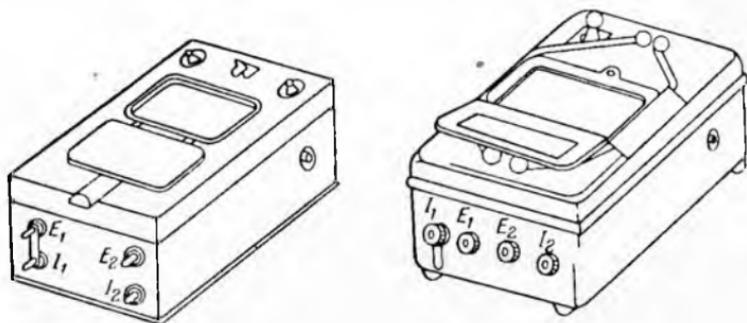


Рис. 3. Внешний вид измерителей заземления МС-07 (слева) и МС-08 (справа).

ществительными преимуществами перед другими приборами и устройствами аналогичного назначения.

Приборы позволяют измерять сопротивления растеканию контуров заземления, сопротивления проводников и других элементов, не содержащих индуктивностей и больших емкостей, в том числе и переходные сопротивления контактов от десятых долей ома до 1 000 ом.

С помощью измерителей заземления можно проверять удельные сопротивления грунтов.

Измеритель заземления МС-08 собран в пластмассовом ящике. Размеры измерителя в собранном виде $192 \times 205 \times 309$ мм, вес прибора 12 кг. Измеритель МС-07 собран в деревянном ящике, вес измерителя 13,5 кг.

В остальном приборы различаются лишь переключателями (рис. 5 и 6).

Существенными достоинствами описываемых приборов являются независимость результатов измерения от сопротивления зонда (в больших пределах) и наличие собственного генератора тока. Увеличение сопротивления вспомогательного электрода лишь несколько снижает чувствительность прибора. В потенциальной цепи приборов (цепи зонда) имеется большое сопротивление, поэтому нет ощутимых искажений в распределении измерительных токов в земле.

Приборы имеют удобную шкалу, проградуированную в омах. Начало шкалы растянуто, тем самым облегчается точный замер малых сопротивлений.

Завод гарантирует наибольшую погрешность показаний прибора на делениях, имеющих цифровые надписи, не более $\pm 1,5\%$ полной длины шкалы, т. е. не более 15 ом для предела 1 000 ом, 1,5 ом — для предела 100 ом и не более 0,15 ом — для предела 10 ом.

Очень важным преимуществом приборов является возможность производства измерений при наличии блуждающих переменных и постоянных токов.

Оба измерителя получили самое широкое распространение и являются незаменимыми при сооружении и эксплуатации распределительных устройств и электросетей высокого напряжения. Эти приборы широко используются во всех энергосистемах и энергохозяйствах многих производственных предприятий и мастерских для проверок состояния заземляющих устройств.

Однако, несмотря на ряд достоинств и сравнительную простоту обслуживания описываемых измерителей, при неправильном обращении с ними можно не только произвести ошибочные измерения, но и вообще испортить прибор.

В дальнейшем речь в основном будет идти об измерителе заземления типа МС-08 и лишь там, где имеют место различия, будет упоминаться и его предшественник — МС-07.

В измерителе МС-08 используется метод амперметра — вольтметра. Однако прибор не имеет отдельно ни амперметра, ни вольтметра: оба эти измерительных прибора заменены одним — магнитоэлектрическим логометром.

Логометр — электроизмерительный прибор, на подвижной оси которого имеются две рамки, расположенные под углом одна к другой (рис. 4). По обмотке первой рамки протекает ток, пропорциональный току в измеряемом сопротивлении, а второй рамки — ток, пропорциональный разности потенциалов или напряжению на измеряемом сопротивлении.

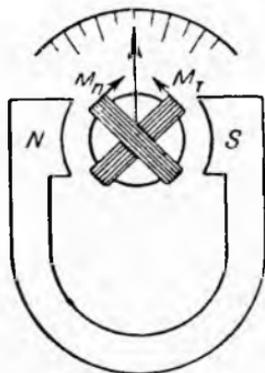


Рис. 4. Магнитоэлектрический логометр.

Поэтому первую рамку логометра будем называть токовой, а вторую — потенциальной.

Особенностью логометра является также отсутствие пружины, создающей противодействующий момент. В логометре как «противодействующий», так и «рабочий» моменты создаются электрическим путем.

В логометре измерителя МС-08 вращающий момент от тока в потенциальной рамке $M_{\text{п}}$ стремится повернуть рамку, а вместе с ней и стрелку прибора по ходу часов, а вращающий момент, создаваемый токовой рамкой $M_{\text{т}}$, направлен в противоположную сторону, т. е. стремится повернуть стрелку против хода часов, к нулю шкалы прибора.

Величина вращающего момента в логометре зависит не только от величины тока в соответствующей рамке, но и от угла поворота α стрелки прибора, причем характер зависимости моментов от угла α различен для каждой из рамок логометра.

Специальным подбором формы полюсов постоянного магнита, в воздушном зазоре которого вращаются обе рамки, и соответствующим расположением самих рамок относительно поля магнитов достигается необходимая зависимость вращающих моментов каждой рамки от угла поворота подвижной системы α .

Математически изложенные выше положения можно выразить следующим образом:

вращающий момент, создаваемый потенциальной рамкой,

$$M_{\text{п}} = k_{\text{п}} I_{\text{п}} f_1(\alpha); \quad (6)$$

вращающий момент, создаваемый токовой рамкой,

$$M_{\text{т}} = k_{\text{т}} I_{\text{т}} f_2(\alpha). \quad (7)$$

Здесь $I_{\text{п}}$ — ток в обмотке потенциальной рамки; как уже отмечалось, этот ток пропорционален напряжению на измеряемом сопротивлении, т. е.

$$I_{\text{п}} = k_{\text{п}} U; \quad (8)$$

$I_{\text{т}}$ — ток в обмотке токовой рамки; он пропорционален току в измеряемой цепи:

$$I_{\text{т}} = k_{\text{т}} I. \quad (9)$$

Стрелка прибора останавливается, когда имеет место условие

$$M_{\text{п}} = M_{\text{т}}.$$

Тогда на основании равенств (6) и (7) и с учетом условий (8) и (9) можно записать:

$$k_2 U f_1(\alpha) = k_3 I f_2(\alpha). \quad (10)$$

Из равенства (10) следует:

$$k f(\alpha) = \frac{U}{I} = R. \quad (11)$$

Выражение (11) показывает, что угол поворота стрелки прибора α зависит от сопротивления измеряемой электрической цепи.

Таким образом, логометр, сочетая в себе амперметр и вольтметр, сам как бы производит вычисление и показывает величину измеряемого сопротивления.

В измерителе МС-08 имеется специальный переключатель, позволяющий изменять коэффициенты пропорциональности $k_{\text{т}}$ и $k_{\text{п}}$ путем подключения соответствующих шунтов и добавочных сопротивлений. Изменяя коэффициенты $k_{\text{т}}$ и $k_{\text{п}}$, можно легко установить необходимый предел измерений.

Того, кто впервые работает с логометрическим прибором, часто смущает «необычное» поведение стрелки: при отсутствии тока и напряжения стрелка останавливается не на нуле и притом каждый раз в другом месте. Дело здесь в том, что логометр не имеет моментной пружины, которая всегда старается поставить стрелку на нулевую отметку перед измерением. Для условного контроля исправности прибора перед измерением часто

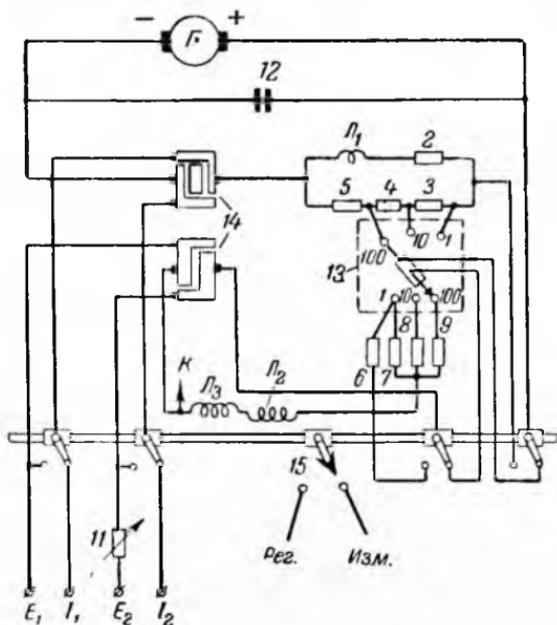


Рис. 5. Схема измерителя заземления типа МС-07.

практикуют такой прием. Подают небольшой ток только в токовую катушку; при этом стрелка должна указать на «0» (напряжения нет, $R=0$). После этого, наоборот, подают небольшое напряжение при отсутствии тока. Стрелка должна отклониться до предела шкалы (ток равен нулю, $R=\infty$).

Измерители заземления МС-08, так же как и МС-07, имеют хорошо сбалансированную подвижную систему логометра, поэтому для них не требуется точная установка в горизонтальном положении. При работе в полевых условиях это очень важно.

Обратимся теперь к схемам приборов (рис. 5 и 6). Измерители имеют собственные генераторы постоянного тока Γ с ручным приводом через редуктор. На валу генератора смонтированы два коммутатора 14, которые вращаются синхронно с генератором. Один из них преобразует постоянный ток генератора в переменный для внешней цепи измерения. Внешняя токовая цепь прибора подключается к токовым зажимам I_1 и I_2 .

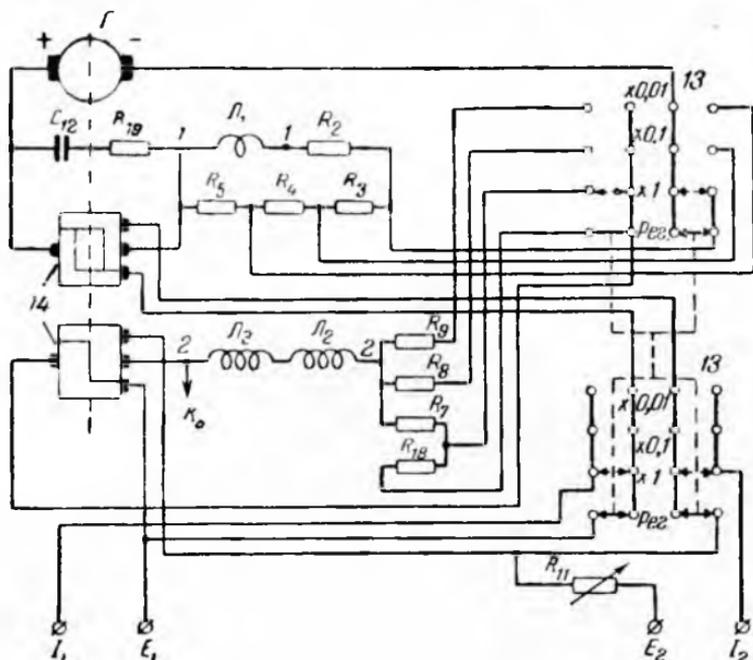


Рис. 6. Схема измерителя заземления МС-08. Переключатель показан в положении „Регулировка“. Пунктиром показано положение „Измерение“.

К потенциальным зажимам E_1 и E_2 подводится от внешних электродов переменное напряжение с измеряемого сопротивления. Второй коммутатор является выпрямителем, работающим синхронно с первым.

Переключатель 13 на четыре положения служит для выбора режима работы и пределов измерений.

У измерителя МС-07 переключатель пределов измерений 13 отличается по конструкции от переключателя измерителя МС-08. Для выбора режима работы имеется

вращается в генератор. После того как ротор генератора повернется на 180° , т. е. сделает пол-оборота (рис. 8), путь тока изменится. Теперь ток после коммутатора будет проходить не к зажиму I_1 , а к I_2 , затем в земле от вспомогательного электрода к заземлителям, далее через зажим I_1 , переключатель 13, коммутатор 15, шунт и т. д.

За следующие полоборота ротора генератора путь тока опять изменится: он станет первоначальным, т. е.

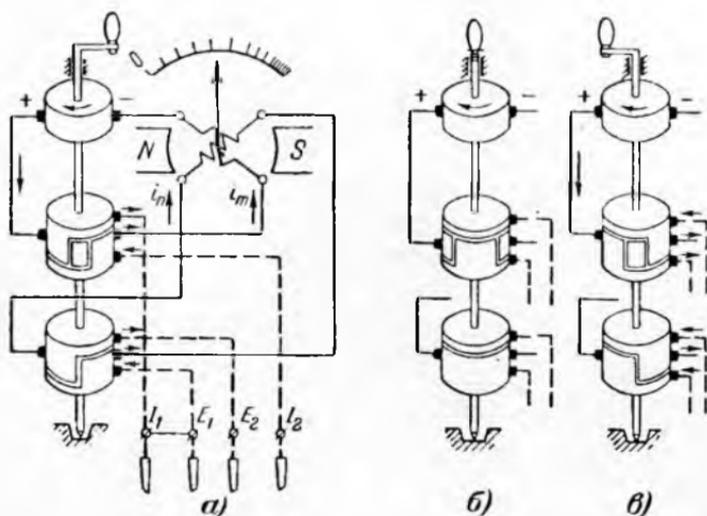


Рис. 8. Работа коммутаторов измерителя заземления МС-08.

а — схема прибора; б и в — различные положения коммутатора при повороте вала генератора.

в земле он пойдет от заземлителей к вспомогательному электроду.

Таким образом, ток в шунте и, следовательно, в токовой рамке логометра всегда направлен в одну и ту же сторону, а в земле каждые пол-оборота ротора генератора и коммутатора направление тока изменяется. Благодаря такому периодическому изменению полярности электродов удается практически исключить явление поляризации и тем самым устранить дополнительные погрешности.

Проследим теперь путь тока в потенциальной цепи. Начнем с того момента, когда ток в земле был направлен от зажима I_1 к зажиму I_2 .

Если ток в земле направлен от заземлителей к вспомогательному электроду, то, значит, потенциал заземлителей выше, чем вспомогательного электрода. Если при этом потенциальный зажим E_1 будет присоединен к заземлителю, а зажим E_2 — к зонду, то ток в приборе будет направлен от зажима E_1 , поскольку он соединен с точкой наибольшего потенциала. От зажима E_1 ток пойдет через коммутатор 14, затем переключатель 13 (на рис. 6 — верхняя часть, левая сторона), через одно из добавочных сопротивлений R_7 , R_8 или R_9 и, наконец, потенциальную рамку логометра L_2 .

После этого ток снова пройдет через коммутатор 14 и через подгоночное сопротивление R_{11} ко второму потенциальному зажиму E_2 . Далее цепь замыкается через зонд и землю.

В следующий период, соответствующий иному положению ротора генератора, когда ток в земле будет идти от зажима I_2 через вспомогательный электрод к зажиму I_1 , потенциал около вспомогательного электрода, а следовательно, и у зонда будет выше, чем у заземлителей. Естественно, ток в прибор пойдет от зонда к зажиму E_2 через сопротивление R_{11} к коммутатору 14, который также повернулся на 180° . Поэтому далее ток пойдет через переключатель (рис. 6, верхняя часть, левая сторона), по одному из добавочных сопротивлений и в потенциальную рамку. При этом направление тока в рамке остается прежним. После рамки ток через коммутатор 14, зажим E_1 и заземлители вернется в землю.

Таким образом, коммутатор изменяет направление тока во внешней цепи и выполняет роль выпрямителя для внутренней потенциальной цепи. То обстоятельство, что в измерительной части прибора протекает постоянный ток, позволяет использовать высокочувствительный магнитоэлектрический логометр.

Применение механического синхронного выпрямителя-коммутатора в сочетании с магнитоэлектрическим прибором позволило получить измеритель с хорошей отстройкой от блуждающих постоянных и переменных токов.

Следует иметь в виду, что прибор может давать некоторые показания и при неподвижном генераторе. В самом деле, когда генератор не работает, но схема измерения собрана, на потенциальных зажимах может по-

явиться некоторое напряжение, обусловленное протеканием блуждающих токов. Если это переменные токи, то магнитоэлектрический логометр на них не будет реагировать, а если постоянные, то они вызовут отклонения стрелки. В зависимости от положения коммутатора ток пойдет в направлении от коммутатора к сопротивлениям R_7 — R_9 или в обратном направлении. При этом соответственно отклонение стрелки будет либо влево, либо вправо. На основании этого можно судить о наличии постоянных токов в земле. Однако измерить их величину прибором МС-08 нельзя.

Если теперь начать вращать рукоятку привода генератора, коммутатор-выпрямитель станет работать как преобразователь постоянного блуждающего тока в переменный и стрелка прибора перестанет отклоняться.

Однако при вращении рукоятки может случиться, что стрелка снова начнет отклоняться или колебаться с некоторой частотой, зависящей от скорости вращения рукоятки. Это явится признаком наличия переменных блуждающих токов. При совпадении частоты переключения коммутатора с частотой блуждающих токов коммутатор попадает в режим выпрямителя этих блуждающих токов. При небольшом расхождении между частотой тока и частотой переключений возможны колебательные движения стрелки.

При измерениях скорость вращения ручки генератора должна быть в пределах 90—150 об/мин, о чем будет сказано еще ниже.

При этом блуждающие переменные токи с частотой 45—55 гц и постоянные токи не увеличивают погрешность измерения сверх 1,5%.

Необходимая чувствительность прибора обеспечивается, если сопротивление вспомогательного заземлителя не превышает 1 000 ом на верхнем пределе измерений и соответственно 500 и 250 ом на пределах измерений 100 и 10 ом.

Сопротивление потенциального зонда во всех случаях не должно превышать 1 000 ом, поскольку именно на такое сопротивление внешней цепи рассчитано регулировочное сопротивление R_{11} , установленное в приборе. Работа подгоночного сопротивления будет описана ниже.

Измерителем МС-08 можно пользоваться при темпе-

ратуре 5—40° С. Но, как показывает опыт, прибор успешно работает и при минус 10—15° С, однако при этом могут быть погрешности больше гарантированных. Следует также оберегать прибор от запотевания при внесении его с мороза в теплое помещение.

Прибор следует хранить в сухом помещении.

3. ИСПЫТАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЗАВОДА «ЭНЕРГОПРИБОР»

а) Измерение сопротивления заземляющих устройств

Для измерения сопротивления заземлителя любым из описанных выше методов необходимы два вспомогательных электрода. Один вспомогательный электрод служит для создания цепи тока, по характеру растекания которого затем и определяется сопротивление заземлителя. Второй, потенциальный электрод, называемый обычно зондом, служит для определения потенциала в определенном месте участка растекания.

Для производства измерений прежде всего надо правильно выбирать места расположения вспомогательных электродов. Характер изменения потенциала на поверхности земли при удалении от заземлителя связан с изменением плотности тока в земле и поэтому зависит от формы электродов, глубины их залегания и взаимного расположения в земле, от свойств грунта и его однородности. На характер растекания тока оказывают также большое влияние находящиеся в земле проводящие предметы, даже если они и не имеют непосредственной связи с электродами заземления.

Например, если вблизи заземлителя проходит кабель с металлической оболочкой (или металлическая водопроводная труба), то значительная часть тока от заземлителя пойдет в сторону этого проводника, затем по нему, и после с него как с протяженного заземлителя ток будет стекать в землю. Это очень важное обстоятельство необходимо учитывать при выборе места расположения вспомогательных электродов.

Токовый и потенциальный вспомогательные электроды следует по возможности располагать в стороне от таких протяженных металлических проводников.

Зачастую заземлитель выполняется состоящим из ряда соединенных вертикальных и горизонтальных элек-

тров, образующих контур заземления. Чем большую площадь занимает такой контур, тем дальше от него отодвигается «район» нулевого потенциала. Поэтому при измерении сопротивления контура заземления необходи-

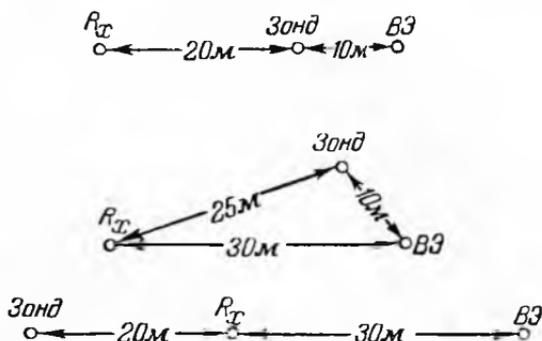


Рис. 9. Минимальные расстояния между основным заземлителем и вспомогательными электродами.

мо удалять вспомогательные электроды, и тем дальше, чем больше территория, занимаемая испытываемым контуром. На рис. 9 и 10 показаны примеры расположения вспомогательных электродов и минимальные

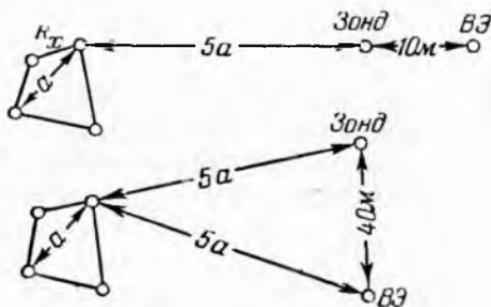


Рис. 10. Минимальные расстояния между испытываемым контуром заземления и вспомогательными электродами.

расстояния между ними и заземлителями (a — наибольшее расстояние между электродами контура заземления).

Когда производятся измерения сопротивлений контуров заземления, сооружаемых у опор линий электро-

передачи, то в качестве вспомогательных электродов можно использовать контуры соседних опор. При этом провода или грозозащитные тросы линии иногда удобно и вполне допустимо использовать в качестве соединительных проводов.

На крупных подстанциях, имеющих контуры заземления до 500 м и более в поперечнике, использование проводов линий является практически единственным способом удаления вспомогательных электродов на необходимое расстояние, исчисляемое иногда километрами.

В качестве специальных вспомогательных электродов рекомендуется применять стальные стержни или трубы диаметром примерно 50 мм. Стержни большего диаметра трудно забивать в землю, а более тонкие могут при забивании погнуться. Стержни должны быть очищены от краски. Ржавчина не оказывает существенного влияния на величину сопротивления вспомогательного заземлителя, и удалять ржавчину следует лишь в месте присоединения проводов измерительной схемы.

Электроды следует забивать на глубину не менее 0,5 м. в твердый естественный грунт. Насыпной грунт (песок, строительный мусор) может иметь значительное сопротивление, поэтому в случае его использования производство измерений будет затруднено. Еще раз напомним, что сопротивление зонда не должно превышать 1 000 ом, а вспомогательного заземлителя — 250—1 000 ом.

Если в районе наиболее рационального расположения вспомогательных электродов нет грунта с малым удельным сопротивлением, то рекомендуется увлажнять то место, куда забиваются или уже забиты электроды. Можно также поливать это место раствором соли (увлажнять или подсаливать места, где находятся электроды испытываемых заземлителей, недопустимо!). При необходимости можно забить несколько электродов и соединить их проводниками.

Стержни или трубы, выполняющие роль вспомогательных электродов, следует забивать прямыми ударами, стараясь при этом не расшатывать их, так как при расшатывании ухудшается соприкосновение электрода с грунтом и, следовательно, возрастает сопротивление.

В качестве вспомогательных заземлителей могут быть использованы также имеющиеся уже в земле стержни,

трубы, металлические конструкции или другие заземлители, в том числе и специальные контуры заземления. Понятно, что эти устройства не должны иметь электрической связи с испытываемым заземлителем, а расстояния до этих вспомогательных заземлителей должно быть достаточно большим. Если в качестве вспомогательного токового заземлителя используется контур из нескольких электродов, то расстояние между этим вспомогательным контуром и зондом должно быть увеличено.

При измерении сопротивления заземления опор линий электропередачи следует обязательно отсоединять грозозащитный трос, так как через него проверяемое заземление может иметь связь с другими заземлителями. Поэтому измерение даст сопротивление нескольких параллельно включенных заземлителей. По результатам таких измерений делать какие-либо выводы о сопротивлении заземления отдельных опор нельзя, так как сопротивления заземления опор обычно бывают неодинаковыми и за «средним» сопротивлением может скрываться плохое сопротивление заземления одной или нескольких опор. Кроме того, здесь трудно оценить влияние сопротивления грозозащитного троса, которое в такой схеме будет оказывать заметное влияние на результаты измерения.

Для измерения сопротивления заземления опор линий электропередачи специально предусматривается разъемное болтовое соединение грозозащитного троса с заземлителем. У деревянных опор разъем обычно делается внизу опоры. Металлические опоры сами служат токопроводами, связывающими заземлитель с тросом грозозащиты. Здесь болтовой разъем устраивается наверху, а трос подвешивается на изоляторах.

Следует заметить, что иногда трос не на каждой опоре имеет изолятор. Если на проверяемой опоре нельзя отсоединить трос, то это следует сделать на соседней опоре.

Прибор необходимо расположить возможно ближе к испытываемому заземлителю. Зажимы I_1 и I_2 соединить соответственно с испытываемым и вспомогательным электродами. Зажим E_2 соединить с зондом, а зажим E_1 — специальной перемычкой с зажимом I_1 . В этом случае сопротивление проводника, которым мы соединили зажим I_1 с заземлителем, войдет в схему измерения

и, если это был тонкий и длинный проводник, может иметь место существенная ошибка в измерении.

Поэтому присоединение зажима I_1 к заземлителю следует производить проводом с сечением 4—6 мм² и длиной не более 2 м.

Можно, однако, не ставить перемычки между зажимами I_1 и E_1 , а соединить последний с заземлителем отдельным проводом. Тогда соединительные провода уже не будут вносить погрешности, и можно будет пользоваться проводами меньшего сечения и большей длины.

Все соединения с электродами следует делать изолированными проводниками. Соединительные провода можно прокладывать прямо по земле.

До производства измерения необходимо проверить качество всех внешних соединений, а затем произвести компенсацию внешних сопротивлений потенциальной цепи: зонда и соединительных проводов. Для этого переключатель I_3 (рис. 6) ставится в положение «Регулировка».

Упрощенная принципиальная схема внутренних и внешних соединений цепей для положения «Регулировка» показана на рис. 7,а.

Вращая рукоятку генератора со скоростью 120—135 об/мин, следует с помощью регулировочного реостата R_{11} добиться установки стрелки прибора на красной черте шкалы. Начинать вращение надо очень медленно с постепенно нарастающей скоростью, ибо при обрыве внешней потенциальной цепи стрелка прибора резко отклонится вправо, что может привести к повреждению прибора. В этом случае следует устранить обрыв в цепи измерения.

Иногда регулировочным реостатом R_{11} не удается установить стрелку логометра на красную черту шкалы. Это значит, что сопротивление внешней потенциальной цепи слишком большое, больше 1 000 ом. Если при этом нет явных обрывов или плохого контакта в местах соединений, то причиной большого сопротивления является зонд. Способы уменьшения сопротивления зонда указывались выше.

После того как произведена компенсация потенциальной цепи, можно приступить непосредственно к измерениям. Начинать измерения рекомендуется по основ-

ной шкале, имеющей предел 1 000 *ом*. Этому соответствует положение переключателя «Измерение $\times 1$ » (для измерителя МС-07 — «делить на 1»).

Если при вращении рукоятки прибора со скоростью 120—135 *об/мин* стрелка незначительно отклоняется от нулевой отметки, то нужно перейти на следующий предел: «Измерение $\times 0,1$ » (шкала 100 *ом*), а если и этого недостаточно, — на предел «Измерение $\times 0,01$ » (шкала 10 *ом*).

Отсчет измерений производится непосредственно по шкале прибора при вращающемся генераторе. Если при этом переключатель пределов измерений занимал второе или третье положение, т. е. «Измерение $\times 0,1$ » или «Измерение $\times 0,01$ », то результат измерения надо умножить соответственно на 0,1 или 0,01. В процессе измерения возможны некоторые осложнения.

Во-первых, иногда стрелка прибора устанавливается неуверенно. В этом случае надо проверить сопротивление вспомогательного заземлителя. Его можно измерить, используя в качестве вспомогательного электрода испытываемый заземлитель. Для этого надо поменять местами провода, присоединенные к зажимам I_1 и I_2 , зажим E_1 соединить с зажимом I_1 и перевести переключатель I_3 в положение «Регулировка». После регулировки произвести измерение.

Следует иметь в виду, что такая проверка сопротивления вспомогательного заземлителя сугубо ориентировочна, точность измерений здесь невелика. Если измерения покажут тем не менее, что сопротивление вспомогательного электрода велико, то необходимо принять меры к его уменьшению, после чего можно снова приступить к измерениям.

Второе осложнение — колебания стрелки прибора (иногда очень значительные) при вращении рукоятки генератора. Эти колебания свидетельствуют о наличии блуждающих переменных токов. От таких колебаний легко избавиться путем изменения скорости вращения генератора.

Желательно, однако, чтобы число оборотов рукоятки генератора не выходило из пределов 90—150 *об/мин*. При снижении числа оборотов уменьшается точность измерений, так как меньше становится измерительный

ток. При увеличении же числа оборотов ток и напряжение в измерительной цепи возрастают, генератор перегружается.

Отметим, что иногда не удается полностью избавиться от колебаний стрелки прибора. Однако при небольших колебаниях можно с достаточной точностью произвести измерения.

б) Измерение удельного сопротивления грунта

Одной из важнейших предпосылок для правильного проектирования заземляющих устройств является знание удельного сопротивления грунта в том месте, где предполагается устраивать заземление.

Для определения удельного сопротивления можно было бы взять образец грунта в виде призмы или цилиндра высотой l см с площадью поперечного сечения s см², измерить электрическое сопротивление R ом между основаниями этой призмы или цилиндра, а затем подсчитать удельное сопротивление образца по формуле

$$\rho = \frac{Rs}{l} \text{ [ом} \cdot \text{см}^2/\text{см}] \text{ или [ом} \cdot \text{см]}. \quad (12)$$

Однако извлеченный из земли образец грунта будет иметь плотность, отличающуюся от той, которой обладает реальный грунт. К моменту измерения изменится и его влажность. Кроме того, при таком измерении совершенно не будет учтено изменение свойств грунта по структуре и влажности в данной местности. Для проектирования заземляющих устройств принято производить измерения удельного сопротивления в условиях, близких к реальным, позволяющие оценить фактическое среднее удельное сопротивление.

Измерители заземления МС-07 и МС-08 позволяют производить такие измерения с достаточной точностью одним из двух простых методов.

Первый метод — метод контрольного электрода.

В грунт забивают контрольный электрод таких же размеров (длина, диаметр), какие предполагаются у будущего заземлителя. Затем забивают еще два вспомогательных электрода на расстояниях, указанных в рис. 9.

После этого обычным способом измеряется сопротивление заземления контрольного электрода, а удельное сопротивление подсчитывается по формуле

$$\rho = 2,73R \frac{l}{\lg \frac{4l}{d}} \text{ ом} \cdot \text{см}, \quad (13)$$

где R — измеренное сопротивление заземления контрольного электрода, *ом*;

l — длина находящейся в земле, т. е. активной, части электрода, *см*;

d — диаметр электрода, *см*.

Если контрольный электрод имеет диаметр 2 дюйма (примерно 5,0 *см*) и длину 250 *см*, то формула (13) приобретает более удобный для расчета вид:

$$\rho = 297R \text{ ом} \cdot \text{см}. \quad (14)$$

Если контрольный электрод погружен в грунт так, что его верхний конец находится на расстоянии t *см* от поверхности земли, то следует пользоваться формулой

$$\rho = 2,73R \frac{l}{\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l}} \text{ ом} \cdot \text{см}. \quad (15)$$

Для трубы, имеющей $d = 2$ дюйма, $l = 250$ *см* и при $t = 70$ *см* из формулы (15) получим:

$$\rho = 333R \text{ ом} \cdot \text{см}. \quad (16)$$

В случае контрольного электрода из угловой стали 50×50 *см* при $l = 250$ *см* и $t = 70$ *см* удельное сопротивление грунта можно подсчитать по формуле

$$\rho = 314R \text{ ом} \cdot \text{см}. \quad (17)$$

Второй метод — метод четырех электродов.

Для измерения в грунт забивают четыре электрода и собирают схему, показанную на рис. 11. Удельное сопротивление грунта определяют по формуле

$$\rho = 2\pi aR, \quad (18)$$

где R — сопротивление, измеренное по схеме на рис. 11, *ом*;
 a — расстояние между электродами (рис. 11), *см*.

Преимуществом этого метода является то, что длина погруженной в грунт части электродов может быть небольшой, около $\frac{1}{20} a$, не более. Расстояние a можно выбирать сколько угодно малым, однако следует иметь

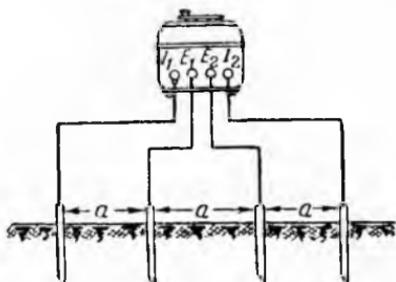


Рис. 11. Измерение удельного сопротивления грунта методом четырех электродов.

в виду, что измеренное удельное сопротивление соответствует среднему удельному сопротивлению грунта на глубине a см. Кроме того, при малых a получается малая чувствительность прибора. Обычно расстояние между электродами принимают 200—400 см.

в) Проверка заземляющей проводки

Правила техники безопасности требуют надежного соединения объектов, подлежащих заземлению, с контуром заземления. Поэтому периодически все контактные сварные и болтовые соединения тщательно осматривают и проверяют их механическую прочность ударами молотка. Однако такой визуальный и механический контроль недостаточен. Правила эксплуатации требуют регулярной проверки электрических качеств сети заземления.

Такую проверку можно весьма просто выполнить при помощи измерителя заземления МС-07 или МС-08, причем измерения можно производить на оборудовании, находящемся в работе. При наличии разветвленных магистралей заземляющей сети такая проверка состоит обычно из двух отдельных этапов.

Первый этап — проверка сопротивления цепей, связывающих отдельные участки заземляющей магистрали с контуром заземления, точнее с тем участком магистрали, который имеет непосредственную, лучше всего видимую связь с заземлителем. От этого участка должно производиться измерение сопротивления заземлителя.

Второй этап — измерение сопротивления участка сети между заземляемым объектом и ранее проверенными участками заземляющей магистрали.

Для проведения проверки необходим измерительный щуп с двумя длинными гибкими проводами типа ПРГ. Очень удобен провод с винилитовой изоляцией, например типа ПВГ. Провода могут иметь сечение 0,75—2,5 мм², а их длина должна быть такой, чтобы можно было достать до наибольшего количества объектов. Брать провода длиной 100—130 м не рекомендуется, так как при большей длине провода перепутываются, производить измерения становится трудно. В качестве щупа можно использовать обыкновенный напильник, лучше трехгранный. Напильник должен иметь изолированную, например деревянную, рукоятку. Если рукоятка сырая, то ее следует дополнительно обмотать изоляционной лентой. Конец напильника тоже следует изолировать. Оба провода тщательно присоединяют к щупу, а их свободные концы — к зажимам I_2 и E_2 . Один из этих проводов будет «токовым», а другой — «потенциальным», а щуп будет одновременно выполнять роль вспомогательного электрода и зонда. При измерении сопротивления проводов, а не заземления такое сочетание вполне допустимо.

Перед измерениями к хорошо очищенному от краски и ржавчины участку заземляющей магистрали тщательно присоединяют два коротких изолированных провода. Один из этих проводов вторым концом подключают к зажиму I_1 , а второй — к зажиму E_1 измерителя. Перемычку между зажимами I_1 и E_1 следует отсоединить, поскольку предстоят измерения весьма малых сопротивлений, соизмеримых с сопротивлением соединительных проводов схемы.

До начала измерений необходимо компенсировать сопротивление соединительных проводов. Для этого один из испытателей, держась одной рукой за изолированную рукоятку щупа-напильника, а другой — за его изолиро-

ванный конец, делает пропилом ребром напильника на магистрали заземления около места присоединения проводов, идущих от зажимов I_1 и E_1 измерителя. Затем щуп двумя руками плотно прижимается к защищенному месту на магистрали.

Второй испытатель, получив команду о готовности схемы, т. е. о том, что создан надежный контакт щупа с магистралью, ставит переключатель измерителя в положение «Измерение $\times 0,01$ » и начинает плавно вращать рукоятку генератора. Если при этом стрелка прибора не отклонится резко вправо, что может означать обрыв потенциальной цепи, то можно довести скорость вращения до номинальной (120—130 об/мин) и с помощью регулировочного потенциометра поставить стрелку прибора на нулевую отметку шкалы. При изменении скорости вращения положение стрелки не должно меняться.

После этого можно приступить непосредственно к испытаниям. Во время измерений один из испытателей постоянно находится у прибора, а второй переходит от объекта к объекту, подсоединяет щуп и подает команду о готовности схемы. По этой команде первый испытатель производит измерение.

При нормальном состоянии сети заземления стрелка прибора не должна отклоняться более чем на 1,5—2,5 деления, т. е. сопротивление участков сети от заземленного оборудования до магистрали заземления не должно превышать 0,03—0,05 ом. Надо подсоединять щуп непосредственно к металлическим частям заземленного оборудования и подавать команду о готовности лишь после того, как обеспечен надежный контакт щупа проверяемым объектом. Отрывать щуп от объекта измерения можно только после полной остановки генератора, так как в противном случае, как и при обрыве потенциальной цепи, можно ожидать повреждения прибора.

Ротор генератора имеет большую инерцию, поэтому генератор будет продолжать работать еще некоторое время после того, как вращение рукоятки прекращено. Чтобы не ожидать полной остановки генератора, рекомендуется проделать следующее. После того как произведено измерение и получен соответствующий отсчет по шкале, прекратить вращение привода генератора и с по-

мощью любой перемычки замкнуть зажимы прибора E_1 и E_2 . Теперь, не ожидая остановки генератора, можно подать команду, разрешающую испытателю, работающему со щупом, перейти к следующему объекту измерения.

Такой простой прием не только надежно защищает прибор от повреждения, но и значительно ускоряет процесс измерения. На каждое измерение затрачивается менее 1 мин.

Во время измерений не следует забывать, что на разомкнутой токовой цепи при вращении генератора может быть напряжение до 150 в.

Для «прозвонки» соединительных проводов иногда пользуются мегомметром. Следует иметь в виду, что использование мегомметра для проверки сети защитного заземления совершенно недопустимо по следующим причинам.

Во-первых, применяемые энергетиками мегомметры имеют номинальное напряжение 500, 1 000 или 2 500 в. Таким высоким напряжением можно легко пробить тонкий слой краски или другой пленки, нарушившей контакт в месте болтового соединения проводов заземляющего устройства. Сопротивление в момент пробоя, естественно, будет малым, в то время как при более низких напряжениях оно может значительно возрасти и превысить допустимое.

Во-вторых, указанными мегомметрами нельзя сколько-нибудь точно измерить сопротивление меньше 50—100 ом. А правила устройства электротехнических установок разрешают для маломощных сетей (с генераторами или трансформаторами до 100 ква) иметь общее сопротивление заземления до 10 ом, а для более мощных установок — и того меньше.

Поэтому для проверки сети заземления можно пользоваться лишь приборами, позволяющими измерять малые сопротивления при небольших напряжениях. Таковыми приборами являются описанные выше измерители МС-07 или МС-08, а также широко распространенные омметры и мосты постоянного тока.

Для проверки качества электрических соединений объектов, подлежащих заземлению (точек заземления), с магистралью заземления можно воспользоваться трансформатором безопасности и собрать схему измерения по методу амперметра и вольтметра, аналогичную рис. 1.

Обмотка низкого напряжения испытательного трансформатора подключается к магистрали заземления, а вторым выводом — через амперметр — к испытываемому оборудованию. Одновременно с измерением тока измерить напряжение на этом оборудовании относительно магистрали заземления.

При испытании точек заземления менее ответственных сетей (т. е. таких сетей, где допустимо иметь сопротивление растекания 4 ом и более [Л. 1 и 6]), можно проверку вести без измерительных приборов, но с помощью 12-в лампы накаливания мощностью 20—25 вт . Для такого испытания нужен трансформатор безопасности с напряжением вторичной обмотки на 12 в . Один вывод этой обмотки следует присоединить к магистрали заземления, а второй — присоединить к лампе накаливания. Свободным выводом лампы с помощью щупа следует подсоединяться к испытываемому заземленному оборудованию. При наличии связи точки заземления с магистралью должна загораться лампа.

Если накал лампы при соединении ее с испытываемым оборудованием не будет заметно отличаться от накала этой же лампы, но подключенной непосредственно к магистрали заземления, то можно считать состояния заземления удовлетворительным. При этом имеется в виду то, что контур заземления, проверенный более точным методом, удовлетворяет соответствующим нормам [Л. 1, 2, 6]*.

г) Измерение сопротивлений

Измерители заземления МС-07 и МС-08 позволяют измерять сопротивления проводников в пределах от 0,1 до 1 000 ом .

Измеряемое сопротивление подключается к измерителю четырьмя проводниками: от одного вывода идут проводники к зажимам E_1 и I_1 , а от второго вывода — к зажимам E_2 и I_2 . Перед измерением следует произвести «регулировку» так, как это описано на стр. 26.

* Следует отметить, что в ПУЭ [Л. 6] не нормируют величину сопротивления связи магистрали с заземленным оборудованием. Практически хорошая связь обеспечивает это сопротивление в пределах 0,03—0,05 ом . Во всяком случае все однотипное оборудование не должно давать существенного разброса по величине сопротивления. С другой стороны, последующие испытания не должны показывать ухудшения.

Затем произвести измерение так же, как и при испытании заземления. Измерение следует начинать производить при положении переключателя, соответствующем верхнему пределу измерений (1 000 ом), а потом переходить при надобности последовательно к шкалам 100 и 10 ом.

Если можно предполагать, что сопротивления соединительных проводников малы по сравнению с измеряемым сопротивлением, то можно поставить две перемычки между выводами E_1-I_1 и E_2-I_2 . Тогда для измерения достаточны два соединительных проводника: от выводов E_1 и E_2 .

Приборами можно измерять только активные сопротивления, поскольку по измеряемому сопротивлению будет протекать переменный несинусоидальный ток. Частота измерительного тока также непостоянна — она зависит от скорости вращения. Поэтому при измерении реактивных сопротивлений можно получить большую и постоянную ошибку.

Измерители можно использовать и для прозвонки электрических цепей следующим образом. Собираем схему так, как при измерении сопротивлений с двумя соединительными проводами. К зажимам E_1 и E_2 подключаем балластное сопротивление примерно около 1 000 ом мощностью не менее 2 вт. Это сопротивление служит для защиты потенциальной цепи от высокого напряжения, которое к ней будет приложено при отсутствии внешней нагрузки. Параллельно балластному сопротивлению можно подключить провода или цепь, целость которой мы желаем проверить. Если цепь исправна, то при вращении рукоятки прибора стрелка будет стремиться к нулю шкалы.

СПЕЦИФИКАЦИЯ
к принципиальной схеме измерителя заземления типа МС-08 (рис. 7)

Наименование и обозначение на схеме	Параметры	Провод обмоточный, диаметр	Примечание
Токовая рамка логометра, L_1	80 витков, 90 ом	0,04—0,05; ПЭШО	
Добавочное сопротивление в цепи токовой рамки, R_2	14 700 ом, $\pm 0,1\%$	0,07; ПЭШОМ	
Сопротивление шунта токовой рамки, R_3	1 400 ом, $\pm 0,1\%$	0,15; ПЭШОМ	
Сопротивление шунта токовой рамки, R_4	1 200 ом, $\pm 0,1\%$	0,12; ПЭШОМ	
Сопротивление шунта токовой рамки, R_5	600 ом, $\pm 0,1\%$	0,12; ПЭШОМ	Состоит из двух сопротивлений по 1 200 ом каждое, включенных параллельно
Генератор, G	180 витков, 8 секций, $R=60$ ом, $U=140 \div 150$ в, $n=120$ об/мин	0,29; ПЭШО	Подгоняют к прибору отдельно
Добавочное сопротивление в цепи потенциальной рамки, R_7	30 000 ом	0,05; ПЭШОМ	

Продолжение

Наименование и обозначение на схеме	Параметры	Провод обмоточный, диаметр	Примечание
Добавочное сопротивление в цепи потенциальной рамки, R_8	4 000 ом	0,07; ПЭШОМ	Подгоняют к прибору отдельно
Добавочное сопротивление в цепи потенциальной рамки, R_9	100 ом	0,1; ПЭШОМ	
Потенциальная рамка логометра, L_2	750 витков, 450 ом	0,07; ПЭЛ-1	
Дополнительная обмотка в цепи потенциальной рамки, L_3	265 витков, 132 ом	0,07; медный	
Добавочное сопротивление в цепи потенциальной рамки при регулировке, R_{10}	27 000 ом, $\pm 1\%$	0,05; ПЭШОМ	
Добавочное сопротивление, R_{10}	120 ом	Сопротивление типа ВС-0,25	
Реостат потенциальной цепи, R_{11}	1 500 ом	СП-1-2-1,5 ком	
Конденсатор генератора, C_{12}	0,5 мкф 1 000 в	Тип КБГ-МН	
Переключатель	—	—	
Коммутатор	—	—	
Клеммы прибора	—	—	

<p>Наименование орга- низации или службы, проводившей испыта- ния</p>	<p>ПРОТОКОЛ № _____ испытания контура заземления</p>	<p>Наименование объекта, РУ, цеха, предприя- тия, ЛЭП дата</p>
---	---	---

1. Контур заземления выполнен в соответствии с чертежом № _____ и проектом _____, что подтверждается актом на скрытые работы _____

2. Испытания контура заземления произведены _____ 193__ г. при температуре воздуха _____ °С и при _____ состоянии погоды, со-
стояние грунта (влажный, сухой, мерзтый)

3. Схематическое расположение электродов при испытании (изобразить расположение электродов, расстояния между электродами, отметить наличие связей с другими искусственными и естественными заземлителями).

4. Сопротивление растеканию контура заземления (заземлителя)
 $R_d =$ _____ Ом.

ЗАКЛЮЧЕН ИЕ. Результаты испытаний _____

Испытания производились приборами _____ тип и заводские № при-

боров

Испытания произвели:

Протокол проверил:

Наименование организации или службы, проводившей испытания	ПРОТОКОЛ № _____ испытания сети заземления	Наименование объекта, РУ, цеха, предприятия ЛЭП
		дата

1. Участок магистрали заземления _____ РУ, цеха _____ имеет металлическую связь с ранее проверенным _____ контуром заземления _____ (см. протокол испытания № _____) РУ, цехом _____.

Сопrotивление связи магистрали заземления с ранее проверенным _____ $R_{см}$ = _____ Ом.

2. Сварные и болтовые соединения магистрали заземления и связей магистрали с точками заземления осмотрены и проверены _____ метод проверки, замечания по результатам проверки _____

3. Сопrotивления связи точек заземления с проверенным участком магистрали заземления, указанным в п. 1, приведены в таблице.

№ п/п.	Наименование объекта заземления (точки заземления)	Сопrotивление, Ом	Замечания и оценка	Дата
1	2	3	4	5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Состояние заземления всех точек, кроме отмеченных в графе 4, удовлетворительное _____

Испытания производились приборами _____

Испытания произвели: _____ Протокол проверил: _____

ЛИТЕРАТУРА

1. Найфельд М. Р., Защитное заземление в электрических установках, Госэнергоиздат, 1956.
2. Найфельд М. Р., Что такое защитное заземление и как его устроить, Госэнергоиздат, 1960.
3. Роках А., Беляков А., Гуревич В. Г. и Сенкевич Г., К расчету заземляющих устройств электрических установок высокого напряжения, Госэнергоиздат, 1933.
4. Лурье А. И., Испытание заземляющих устройств электрических установок, Госэнергоиздат, 1950.
5. Измеритель заземления типа МС-08, ЦБТИ Мосгорсовнархоза, 1960.
6. ПУЭ, вып. I, Госэнергоиздат, 1958.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Методы измерения сопротивления заземления	5
2. Измерители заземления завода „Энергоприбор“	12
3. Испытания с помощью измерителя завода „Энергоприбор“	22
Приложения	36
Литература	39

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

- Чернев К. К., Обслуживание распределительных устройств высокого напряжения (выпуск 47)
- Плетнев Л. Ф., Реле прямого действия, их наладка и проверка (выпуск 48)
- Слонский В. В., Электродуговая сварка алюминиевых шинопроводов переменным током (выпуск 49)
- Белов Г. В., Монтаж токопроводов из шин коробчатого сечения (выпуск 50)
- Жуков Е. П., Монтаж проводов вторичной коммутации (выпуск 51)
- Иевлев В. И. и Рябцев Ю. И., Монтаж трансформаторов напряжением 500 кВ (выпуск 52)
- Гуреев И. А., Комплектные шинопроводы цеховых электрических сетей (выпуск 53)
- Севастьянов М. И., Прокладка кабелей напряжением до 35 кВ в промышленных и гражданских зданиях (выпуск 54)
- Шувалов К. И., Простейшие схемы автоматического управления электроприводами (выпуск 55)
- Клюев С. А., Осветительные сети производственных помещений (выпуск 56)
- Ашкенази Г. И. и Холмянский Р. М., Электрооборудование театрально-зрелищных зданий (выпуск 57)
- Иевлев В. И. и Скляр П. В., Из опыта монтажа силовых трансформаторов напряжением 110—220 кВ (выпуск 58)
- Фридкин И. А., Прокладка кабельных линий в земле (выпуск 59)

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ

- Злобин Б. В., Испытания силовых трансформаторов при монтаже
- Демчев В. И. и Царьков В. М., Прожекторное освещение
- Кастанович М. М., Как работают провода, изоляторы и арматура линии электропередачи
- Минин Г. П., Измерение мощности
- Мусаэлян Э. С., Проверка и испытание синхронных генераторов в процессе монтажа
- Рубо Л. Г., Изоляционные лаки и их применение
-
-