

Проверка импеданса заземляющего электрода для коммерческих, промышленных и жилых зданий

Указания по применению

В большинстве помещений есть заземленные электрические системы, благодаря чему в случае удара молнии или броска напряжения в сети ток находит безопасный путь до земли. Заземляющий электрод обеспечивает контакт между электрической системой и землей. В целях обеспечения надежного контакта с землей в электротехнических нормативах, инженерных и местных стандартах часто указывается минимальный импеданс заземляющего электрода. Международная ассоциация тестирования электрооборудования предписывает выполнять проверку заземляющего электрода каждые три года, чтобы система со средним временем использования находилась в работоспособном состоянии. В данных указаниях базовые сведения о заземлении и безопасности разъясняются более подробно, после чего описываются принципы способов проверки: измерение сопротивления методом падения напряжения (3- и 4-полюсным методом), селективное измерение, безэлектродное (бесштыревое) измерение и измерение 2-полюсным методом.

Зачем заземлять?

В национальном электротехническом кодексе (NEC) США приведены две принципиальные причины заземления объектов.

- Стабилизация напряжения относительно земли в нормальном режиме работы.
- Ограничение повышения напряжения, вызванного молнией, скачками в сети или случайным контактом с высоковольтными линиями.

Ток всегда стремится возвращаться к своему источнику по линии наименьшего сопротивления, будь то трансформатор подстанции, трансформатор на объекте или генератор. Между тем, молния всегда найдет путь до земли.

В случае удара молнии в линии электропередач или вблизи здания зазем-

ляющий электрод с низким импедансом поможет передать энергию в землю. Заземляющие системы соединяют землю возле здания с электрической системой и арматурой здания.

При ударе молнии потенциал объекта будет примерно таким же. Уменьшая градиент потенциала, можно добиться снижения ущерба.

Если высоковольтная линия электропередач (более 1000 В) приходит в контакт с низковольтной линией, на близлежащих объектах может произойти очень сильный скачок напряжения. Электрод с низким импедансом поможет ограничить повышение напряжения на объекте.

Почва с низким импедансом также обеспечивает путь возврата импульсов линии электропередачи. На рис. 1 показана система заземления коммерческого здания.

Импеданс заземляющего электрода

Импеданс от заземляющего электрода до земли зависит от двух факторов: удельного сопротивления окружающей почвы и структуры электрода.

Удельное сопротивление присуще любому материалу. Оно определяет возможность материала проводить ток. Удельное сопротивление земли является сложным, поскольку оно

- зависит от состава почвы (например, глинистая, каменная и песчаная почва);
- может изменяться даже на коротких расстояниях из-за наличия смесей различных материалов;
- зависит от содержания минеральных веществ (например, соли);
- меняется при сдавливании и может меняться со временем в результате усадки;
- меняется с температурой, при замерзании (а следовательно, зависит от времени года). При понижении температуры удельное сопротивление повышается;
- подвергается воздействию закопанных металлических цистерн, труб, арматурных стержней и т. д.;
- меняется с глубиной.

Поскольку с глубиной удельное сопротивление может понижаться, одним из способов понижения импеданса заземления является более глубокое вкапывание электрода. Распространенными способами повышения эффективной площади электрода является использование набора штырей, проводящих колец или сеток. При использовании нескольких электродов для получения максимальной эффективности такой системы их «области действия» не должны перекрываться (см. рис. 2). Практический метод – разнести элементы на расстояние, превышающее их длину. Например: для получения максимальной эффективности штыри длиной 2,5 метра необходимо разнести более чем на 2,5 метра.

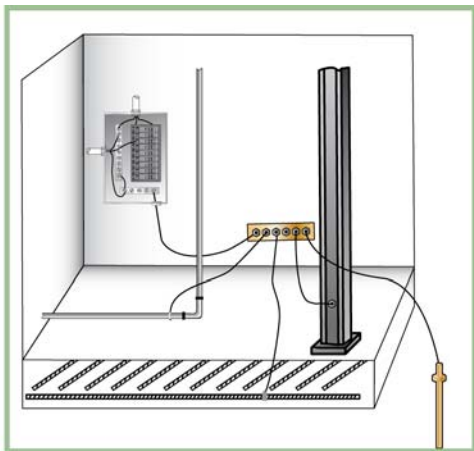


Рисунок 1. Система заземления, в которой совместно используется арматура и стержневой электрод

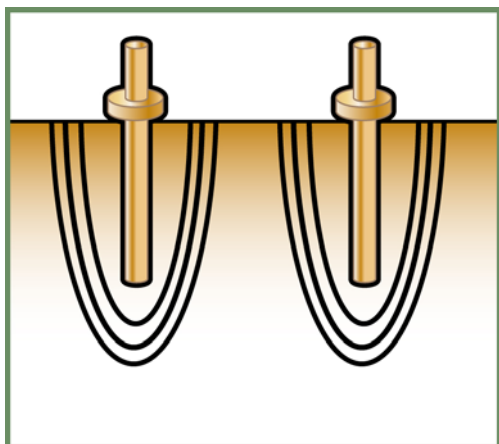


Рисунок 2. Электроды заземления окружает их «область действия»

В качестве допустимого значения импеданса электрода NEC принимает значение 25 Ом. Стандарт 142 IEEE, «Руководящий документ для заземления промышленных и коммерческих энергосистем» («Зеленая книга») требует, чтобы сопротивление между основным заземляющим электродом и землей для крупных коммерческих и промышленных систем составляло от 1 до 5 Ом.

Местные власти, включая компетентные органы, и руководители предприятий отвечают за определение приемлемых предельных значений импеданса заземляющего электрода.

Примечание. По системам энергораспределения подается переменный ток. Устройства проверки заземления также используют переменный ток. Именно поэтому речь идет об импедансе, а не о сопротивлении. Однако при частотах, которые используются в линиях электропередач, активный компонент импеданса земли обычно значительно превышает реактивный, поэтому термины «импеданс» и «сопротивление» используются практически как синонимы.

Как работают приборы для измерения сопротивления заземления?

Существуют два типа приборов измерения сопротивления заземления. Приборы для измерения сопротивления трех- и четырехточечным методом и приборы измерения заземления с применением токовых клещей (см. рис. 3). В обоих случаях напряжение подается на электрод, после чего измеряется результирующий ток.

В приборе измерения сопротивления заземления трех- и четырехполюсным методом в портативном корпусе (универсального типа) объединяются источник тока и прибор для измерения напряжения. В таких приборах используется

несколько штырей и (или) зажимов.

Приборы измерения сопротивления заземления обладают следующими характеристиками:

- При исследовании используется переменный ток. Земля не очень хорошо проводит постоянный ток.
- Частота проверочного тока очень близка к частоте тока в энергосистеме, но отличается от нее и ее гармоник. Это устраняет влияние паразитных токов на измерение импеданса относительно земли.
- Отдельные контакты для источника тока и для измерений компенсируют длину проводов, используемых при данном измерении.

- Фильтрация на входе предназначена для выделения собственного сигнала и отсекается всех остальных. Приборы измерения сопротивления заземления с токовыми клещами устроены совершенно по-другому, поскольку в них есть трансформатор источника тока и измерительный трансформатор. Трансформатор источника тока подает напряжение на проверяемый контур, а измерительный трансформатор измеряет получающийся ток. В токовых клещах используется сложный способ фильтрации, который позволяет выделить собственный сигнал и отсеять все остальные.

Безопасность измерения сопротивления заземления

При подключении контактов всегда пользуйтесь изолирующими перчатками, защитными очками и другими средствами индивидуальной защиты. По указанным ниже причинам небезопасно предполагать, что на заземляющем электроде нулевое напряжение или нулевой ток.

Для измерения сопротивления заземляющего электрода основным способом (который называется методом измерения сопротивления падением напряжения) **электрод необходимо отсоединить от здания**. Новые селективные методы позволяют проводить точные измерения с подключенными электродами. См. пункт «Селективные измерения».

Короткое замыкание на землю в системе может привести к протеканию больших токов через заземляющий проводник. Перед измерением импеданса необходимо проверить наличие тока с помощью токовых клещей. Если обнаружится ток более 1 ампера (что часто происходит на практике), перед продол-

жением процесса необходимо выяснить, что является источником тока.

Если электрод необходимо отключить от электрической системы, постарайтесь сделать это в период обслуживания, когда систему можно обесточить.

В противном случае во время проведения измерений рекомендуется подключить к электрической системе резервный электрод.

Никогда не отключайте заземляющий электрод, если существует вероятность удара молнии или другого нарушения в системе.

Короткое замыкание на землю вблизи электродов может привести к повышению напряжения на заземлении. Источник замыкания на землю может даже не находиться на объекте, где проводится измерение, но может вызвать возникновение напряжения между измерительными электродами. Это особенно опасно возле вспомогательных подстанций или линий электропередач, где могут возникать значительные токи через заземление. (Проверка систем заземления опор ЛЭП или подстанций требует использования специальных процедур «заземления под напряжением», которые не описаны в данных указаниях.)

В приборах измерения импеданса относительно земли используется существенно большая энергия, чем в стандартных мультиметрах. Они могут выдавать ток до 250 мА. Убедитесь в том, что все, кто находится в зоне проведения испытаний, знают это, и предупредите всех, чтобы они не прикасались к контактам при включенном приборе.

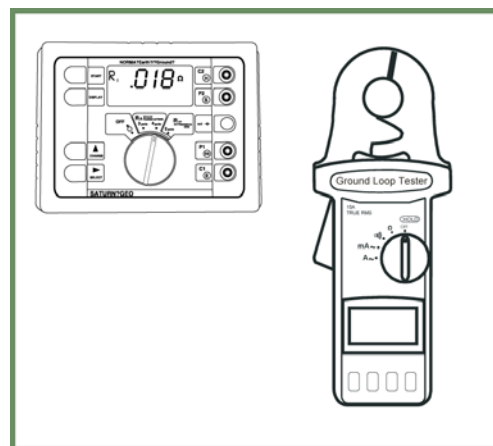


Рисунок 3.

Проверка сопротивления соединения до электрода

Перед тем как проверить электрод, начните с проверки его соединения с системой заземляющей цепи объекта. Большинство приборов для измерения сопротивления падением напряжения позволяют выполнять двухполюсные измерения небольших сопротивлений и прекрасно подходят для этого. Сопротивление менее 1 Ом должно присутствовать в следующих местах:

- в главной заземляющей перемычке;
- между главной заземляющей перемычкой и проводником заземляющего электрода;
- между проводником заземляющего электрода и самим заземляющим электродом;
- во всех прочих промежуточных соединениях между главной заземляющей перемычкой и заземляющим электродом.

Метод измерения сопротивления падением напряжения

Метод измерения сопротивления падением напряжения является «традиционным» методом измерения сопротивления электродов. Эта процедура описана в стандарте IEEE-81 «Руководство по измерению удельного сопротивления и импеданса заземления, потенциалов системы заземления на поверхности земли» и в других многочисленных национальных стандартах. В базовом случае этот способ хорошо работает для систем с небольшими электродами, в которых один-два штыря. Также будет описан метод определения угла наклона по Тагу, который может помочь сделать точные выводы о более крупных системах. Помните: для данного метода заземляющий электрод должен быть отсоединен от электросистемы здания.

Как работает метод

При использовании метода падения напряжения выполняется подключение в трех местах. Он часто называется «трехполюсным методом». Для точных измерений на электродах с низким импедансом может потребоваться использование четвертого проводника, но сначала давайте рассмотрим три. Подключения выполняются к:

- E/C1 – проверяемому заземляющему электроду;
- S/P2 – штырю для измерения напряжения (потенциала), вводимому в землю на некотором расстоянии от электрода. Иногда он называется вспомогательным потенциальным электродом;
- H/C2 – токовому штырю, вводимому в землю как можно дальше от первого электрода. Иногда он называется вспомогательным токовым электродом.

На рис. 4 это представлено схематически, а на рис. 5 показаны три соединения, установленные с помощью обычного прибора для измерения сопротивления заземления.

Прибор подает переменный ток на землю между проверяемым (E) и токовым (C2) электродами. Прибор измеряет падение напряжения между штырем P2 и E. Затем для расчета сопротивления между P2 и E используется закон Ома.

Для выполнения измерения штырь C2 размещается на некотором расстоянии от проверяемого электрода. Затем, когда штырь C2 находится в неизменном положении, штырь P2 перемещается между E и C2, при этом постоянно измеряется импеданс.

Сложность заключается в определении расстояния между штырями для получения правильных показаний сопротивления между электродом и землей. В какой точке почва вокруг электрода перестает влиять на сопротивление и становится просто почвой? Следует помнить о том, что нас не интересует сопротивление между электродом и штырями. Мы пытаемся измерить сопротивление, которое встретит ток замыкания на землю при прохождении через почву.

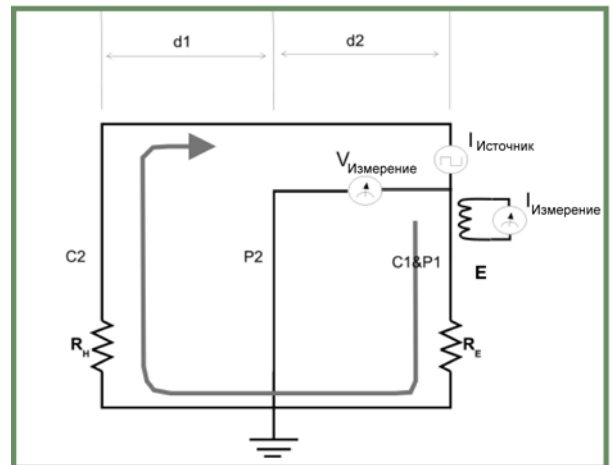


Рисунок 4. Схема метода падения напряжения.

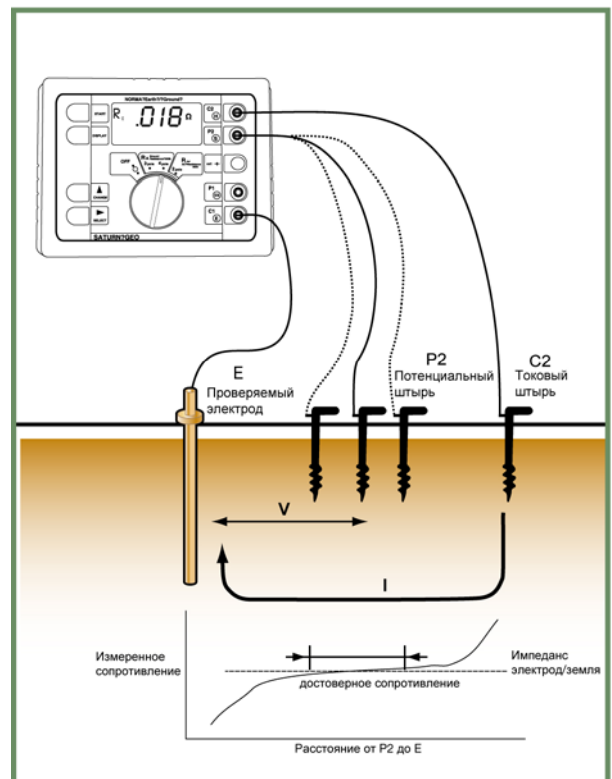


Рисунок 5. Построение измеряемых значений импеданса в зависимости от положения потенциального штыря позволяет нам узнать импеданс земли.

Советы по проведению измерений

- Запаситесь хорошей длинной рулеткой.
- Для нахождения горизонтального участка кривой потребуется не менее 5 измерений.
- Рекомендуется выполнить три измерения сопротивления при нахождении штыря P2 на расстоянии 20%, 40% и 60% от расстояния между E и C2. Это позволит использовать метод определения угла наклона по Таггу.
- При размещении токовый, потенциальный и проверяемый электрод должны находиться на прямой линии.
- Если получается очень высокое значение импеданса или показания выходят за пределы диапазона, попробуйте налить немного воды возле проверочных штырей для улучшения их контакта с землей. Это не жульничество, поскольку цель заключается не в измерении сопротивления штырей, а измерении сопротивления электрода.
- Следите за тем, чтобы потенциальный и токовый штырь не соприкоснулись во избежание взаимодействия сигналов в них.
- На месте новой стройки, возможно, потребуется провести несколько измерений. Со временем, по мере усадки почвы, сопротивление может понижаться.

Между токовым штырем и проверяемым электродом возникает напряжение. Рядом с электродом напряжение низкое, и при соприкосновении штыря P и электрода оно падает до нуля. Считается, что рядом с электродом потенциальный штырь находится в области его влияния.

Рядом с токовым электродом напряжение практически равно выдаваемому прибором. А вот примерно посередине происходит самое интересное.

По мере перемещения из области влияния электродов в массу почвы ток измерения практически не приводит к существенному изменению потенциала. Если выполнить несколько измерений, перемещая потенциальный штырь от проверяемого электрода по направлению к токовому штырю, можно заметить спрямление кривой. На рис. 5 (см. предыдущую страницу) показана идеальная кривая. Из спрямленной части кривой можно узнать сопротивление почвы. В действительности кривая никогда не спрямляется полностью, но в местах малого изменения сопротивления ее наклон становится очень маленьким.

Степень влияния электрода зависит от его заглубления и зоны. Чем больше заглублены электроды, тем дальше нужно располагать токовый штырь (см. табл. 1). В случае больших заземляющих колец, решеток или массивов влияние электрода может распространяться на сотни метров. В табл. 2 приведены примерные точки начального расположения токового и потенциального штырей. Из-за возможности взаимодействия между кольцами, решетками или массивами электродов и измерительными штырями нельзя пренебрегать дополнительными измерениями – для гарантированного получения точных результатов необходимо строить график падения напряжения.

При проверке связанного массива электродов общее сопротивление массива будет меньше, чем самое маленькое значение, полученное для отдельного электрода. Если, например, есть два 2,5-метровых штыря, разнесенных более чем на 2,5 метра, можно гарантировать, что общее сопротивление будет существенно меньше для системы в целом.

Измерение трехточечным методом обеспечит хорошие результаты при использовании короткого провода C1 (если добавление сопротивления проводов к общему результату не принципиально). Для измерения сопротивления почвы, превышающих 10 Ом, влияние сопротивления провода C1 будет относительно небольшим. Однако для очень точного измерения, особенно при малых сопротивлениях, прибор для четырехточечного измерения позволяет добавить четвертый провод и избавиться от влияния провода C1. При подведении отдельного потенциального провода к проверяемому электроду можно избавиться от включения падения напряжения на проводе C1 в итоговые показания.

Таблица 1. Приблизительное расстояние до вспомогательных штырей по правилу 62% (в метрах)

Глубина установки проверяемого электрода (E)	Расстояние от E до потенциального штыря (P2)	Расстояние от E до токового штыря (C2)
2	15	25
3	19	30
6	25	40
9	31	50

Таблица 2. Приблизительное расстояние до вспомогательных штырей для массивов электродов (в метрах)

Широкая сторона (диагональ, диаметр или прямая линия) проверяемого массива электродов	Расстояние от E до потенциального штыря (P2)	Расстояние от E до токового штыря (C2)
20	30	50
25	50	80
30	70	100
50	100	170
70	130	200

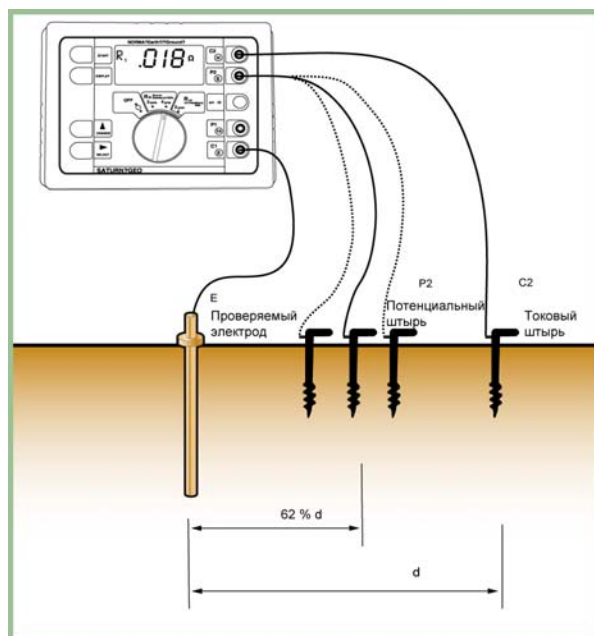


Рисунок 6. Положения штырей для правила 62%.

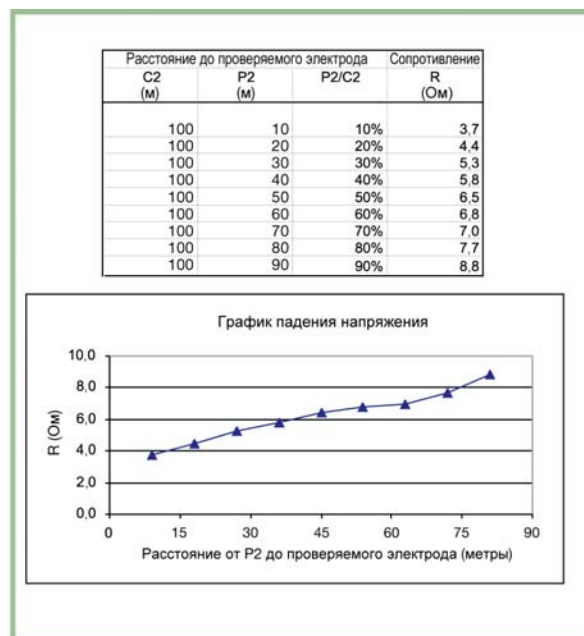


Рисунок 7. Сопротивление почвы можно найти из этой кривой с помощью метода определения угла наклона по Таггу.

Правило 62%

Если измерения удовлетворяют указанным ниже условиям, то процедуру можно сократить.

- Проверяется простой электрод (а не большая сетка или пластина).
- Токовый штырь можно установить на расстоянии 30 и более метров от проверяемого электрода.
- Почва однородная.

При этих условиях токовый штырь можно установить на расстоянии 30 и более метров от проверяемого электрода. Удалите потенциальный штырь от проверяемого электрода на 62% расстояния между ним и токоведущим штырем и сделайте замер. Для проверки сделайте еще два измерения: одно – когда потенциальный штырь находится на 1 м ближе к проверяемому электроду, а другое – когда он на 1 м дальше (см. рис. 6). Если вы находитесь на прямом участке кривой падения напряжения, то показания должны примерно совпадать, и первое показание можно зарегистрировать в качестве значения сопротивления.

Метод определения угла наклона по Таггу

Для больших электродов и систем заземления требуются специальные рекомендации. Если на график нанесены показания для девяти различных местоположений электрода P2 и при этом на графике отсутствует четкий спрямленный участок, в определении импеданса заземления может помочь метод определения угла наклона по Таггу. На рисунке 7 показан пример данных, для которых нет четкого спрямленного участка. Эта кривая характерна для исследования, в котором токовый и потенциальный штыри не выходят из области влияния проверяемого электрода. Такая форма кривой может быть обусловлена рядом следующих причин:

- Для систем электродов, покрывающих большие площади, размещение штырей на достаточно большом расстоянии может представлять определенную сложность.
- Отсутствует возможность помещения штыря C1 в центре электрода.
- Область размещения штырей может быть ограничена.

При наличии показаний для точек, расположенных на удалении 20%, 40% и 60% от расстояния между E и C2, описанную ниже процедуру можно применить к полученным данным.

Вычислите коэффициент наклона (μ), взяв за основу три измерения сопротивления на удалении 20%, 40% и 60% расстояния от проверяемого электрода до токового штыря C2.

$$\mu = \frac{(R_{60\%} - R_{40\%})}{(R_{40\%} - R_{20\%})}$$

Затем обратитесь к таблице, которая находится на последней странице указаний, и найдите соотношение P2/C2, которое соответствует полученному значению μ . С помощью этого соотношения можно узнать, где на графике искать сопротивление заземления. Для данных на рис. 7:

$$\mu = \frac{(6,8 - 5,8)}{(5,8 - 4,4)} = 0,71$$

Если обратиться к таблице, значению $\mu = 0,71$ соответствует значение P2/C2, равное 59,6%. Поэтому приблизительное сопротивление заземления следует измерять на расстоянии (59,6% X 100 м) или 59,6 м. Это рядом с точкой 60% (60 м), где показания составляли 6,8 Ом. Поэтому с достаточной степенью уверенности можно говорить, что сопротивление заземления для проверяемого электрода составляет примерно 6,8 Ом.

Селективный метод

Селективный метод – это вариант метода падения напряжения, доступный в измерительных приборах высшего класса типа Fluke 1625. Измерительные приборы с этой функцией могут измерять импеданс земли определенного заземляющего электрода без его отключения от массива или от электрической системы. Это означает, что для проведения испытаний не нужно отключать систему или рисковать своей безопасностью, отключая электрод от системы, которая находится под напряжением.

Применяются те же правила размещения токового и потенциального штырей, как и при использовании метода падения напряжения. Если удовлетворяются условия для правила 62% (см. предыдущую страницу), данный способ может помочь сократить количество измерений. В противном случае рекомендуется строить полную кривую для метода падения напряжения. Если кривая не спрямляется, можно воспользоваться методом определения угла наклона по Тагу. В селективном методе,

как и в методе падения напряжения, для подачи тока и измерения падения напряжения используются штыри.

Существенное их различие заключается в том, что с помощью селективных испытаний можно точно измерять тестовый ток в проверяемом электроде.

Нулевой провод, арматура здания и заземляющий электрод связаны и заземлены. При подаче тока в эту систему параллельных заземляющих соединений ток будет разделяться. При проведении классических испытаний падения напряжения невозможно узнать силу тока, протекающего между тем или иным электродом и токовым штырем C2. При селективных испытаниях для измерения тестового тока в проверяемом электроде используется встроенный высокочувствительный трансформатор тока в токовых клещах. На рис. 8 показано, как трансформатор тока устанавливается на проверяемый контур. Селективный прибор проверки заземления фильтрует цифровые измерения тока для сведения влияния паразитных токов к минимуму. Прибор может точно измерить ток в проверяемом электроде, эффективно

изолируя электрод, благодаря чему его можно проверять без отсоединения от системы и других электродов.

Метод токовых клещей

Метод токовых клещей («бесштыревой», «безэлектродный» метод) позволяет измерить импеданс последовательного контура заземляющих электродов. Испытания достаточно просты, и их можно проводить на электродах, подключенных к действующим источникам питания.

Для измерений прибор использует специальный трансформатор, который генерирует на заземляющем проводнике напряжение уникальной тестовой частоты.

Для выделения тестовой частоты и измерения результирующего тока через цепь, который определяется сопротивлением контура, в приборе используется второй трансформатор.

Этот способ доступен при использовании некоторых приборов, предназначенных для измерения падения напряжения (таких, как Fluke 1625 или Fluke 1623), или специальных токовых клещей, таких как Fluke GEO 30. На рис. 10 показано подключение источника и измерительных клещей Saturn GEO X.

На рис. 9 (см. след. страницу) показана эквивалентная тестовая цепь для безэлектродного метода. При испытании заземляющих электродов зданий этим способом фактически происходит испытание контура, в состав которого входят следующие элементы:

- проверяемый электрод;
- проводник заземляющего электрода;
- главная заземляющая перемычка;
- вспомогательный нейтральный провод;
- перемычка соединения нейтрального проводника подстанции с заземлением;
- проводники заземления подстанции (между полюсами);
- заземление полюсов подстанции.

Поскольку в данном методе вспомогательные цепи выступают частью контура, его можно использовать только после полной разводки вспомогательных цепей. То есть его нельзя использовать до подключения к подстанции.

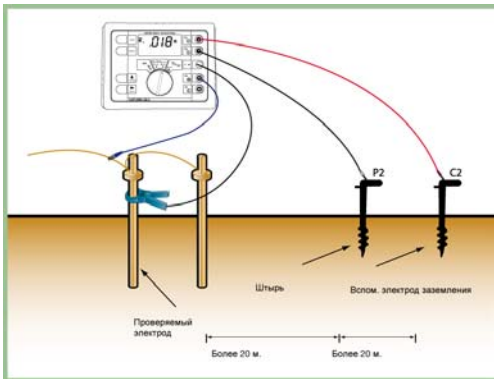


Рисунок 8. Подключения селективного измерения заземляющих электродов

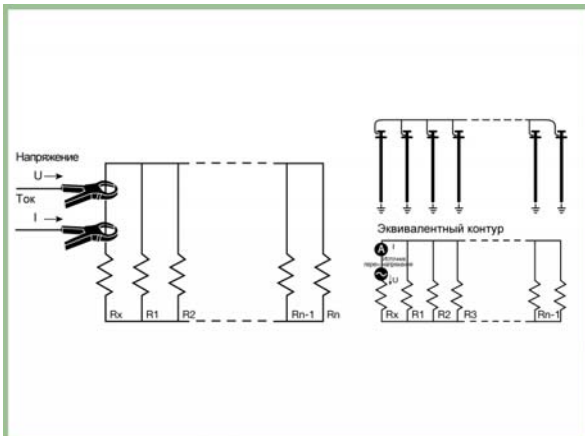


Рисунок 9. Подключения для селективного измерения импеданса электродов

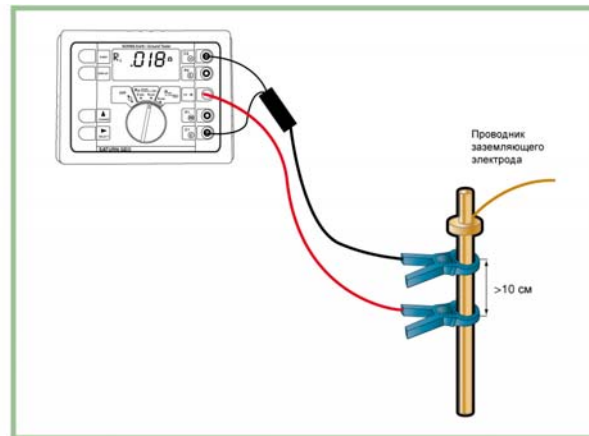


Рисунок 10. Подключение прибора Saturn GEO X для безэлектродных измерений

При использовании данного метода клещи позволяют контролировать непрерывность соединений всех указанных выше компонентов. Аномально высокие показания или указания на разрыв контура на приборе свидетельствуют о ненадежном соединении между одним или несколькими указанными выше критически важными компонентами. На большинстве объектов заземляющий электрод подключается параллельно нескольким электродам заземления подстанции. Такими электродами могут быть полюсные электроды, полюсные пластины или неизолированные нейтральные проводники.

Обычно импеданс заземляющих электродов подстанций в сумме дает очень маленькое значение.

Рассмотрим пример. Предположим, есть 40 полюсных электродов, сопротивление каждого из которых составляет около 20 Ом, и все полюса электродов соединены между собой проводом заземления с низким импедансом. Эквивалентное сопротивление 40 параллельных электродов будет следующим:

$$R_{\text{эк}} = \frac{1}{40 \times \frac{1}{20 \Omega}} = \frac{1}{2} \Omega$$

Поскольку по сравнению с ожидаемым значением сопротивления проверяемого электрода половина Ома составляет небольшую величину, то можно предположить, что большая часть измеряемого сопротивления обусловлена сопротивлением почвы, в которую установлен проверяемый электрод.

В данном методе есть несколько подводных камней:

- Если место измерения в системе выбрано неверно, можно получить значение сопротивления проводного контура (например, на защитном контуре или системе молниезащиты). Если предпо-

лагалось получить сопротивление почвы, при измерении проводящего контура будет получено неожиданно низкое значение сопротивления.

- Получить низкое значение можно в результате наличия двух очень близко расположенных электродов, между которыми есть электрический контакт (например, двух водопроводных труб и др.).
- Качество измерения зависит от доступности параллельных путей. Если здание питается только от генератора или трансформатора с одним электродом, предположение наличия нескольких путей прохождения тока будет неправильным, и измерение покажет сопротивление заземления обоих электродов. С помощью этого метода измерить сопротивление почвы будет невозможно.
- На показания может влиять система заземления подстанции.

В общем случае, если получаются показания менее 1 Ома, повторно все проверьте и убедитесь в том, что не производите измерения проводного контура вместо измерения контура, проходящего через почву.

Двухполюсный метод

В двухполюсном методе используется «вспомогательный электрод», такой как водопроводная труба. Соединения показаны на рис. 12. Измерительный прибор измеряет общее сопротивление заземления проверяемого электрода, сопротивление заземления вспомогательного электрода и сопротивление измерительных проводов. Измерения проводятся на основании предположения, что у вспомогательного электрода очень маленькое сопротивление. Это будет недалеко от истины в случае металлических труб без пластиковых сегментов или изолирующих соединений.

Влияние сопротивления измерительных проводов можно компенсировать, если закоротить их между собой и вычесть полученное значение сопротивления из результатов измерения.

Несмотря на удобство двухполюсного метода, следует соблюдать осторожность:

- Водопроводные трубы могут содержать ПВХ-элементы, которые существенно повышают сопротивление заземления труб. В этом случае при использовании двухточечного метода будут получены слишком большие значения.
- Вспомогательный электрод может находиться в области влияния проверяемого электрода. В этом случае показания будут меньше действительного значения. Поскольку при использовании данного метода присутствуют неизвестные величины, его рекомендуется использовать только тогда, когда конфигурация системы заземления и вспомогательного электрода хорошо известна.

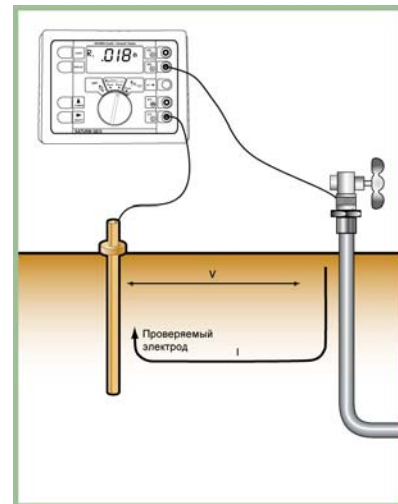


Рисунок 12. Эквивалентный контур для двухточечного измерения

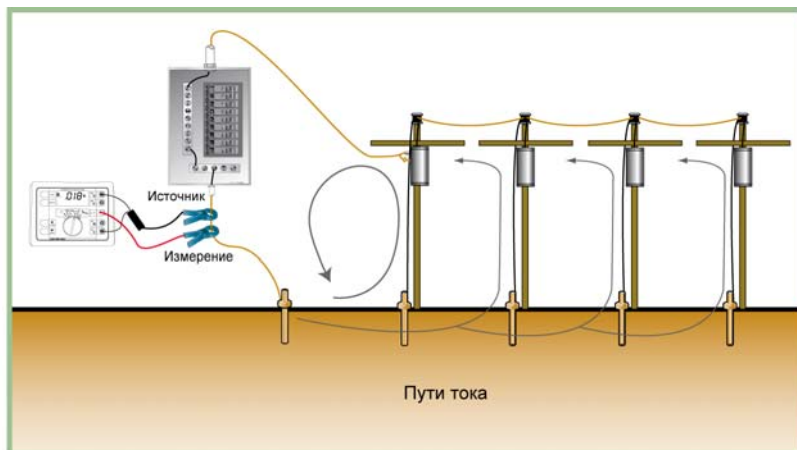


Рисунок 11. Пути прохождения проверочного тока при использовании «бесштыревого» метода

Сводная таблица методов проверки заземляющего электрода		
	Преимущества	Недостатки
Падение напряжения	<ul style="list-style-type: none"> Широкое распространение. Если получена характеристическая кривая, то результаты измерений можно считать достоверными. 	<ul style="list-style-type: none"> Необходимо отключать заземление. Могут возникнуть сложности с установкой штырей. Около заземляющего электрода может не быть места для установки штырей.
Селективный метод	<ul style="list-style-type: none"> Электрод не нужно отсоединять. Широкое распространение. Если получена характеристическая кривая, то результаты измерений можно считать достоверными. 	<ul style="list-style-type: none"> Могут возникнуть сложности с установкой штырей. Около заземляющего электрода может не быть места для установки штырей.
Бесштыревой метод	<ul style="list-style-type: none"> Удобство. Экономия времени. Ничего не нужно отключать. Не требуются штыри. 	<ul style="list-style-type: none"> Предполагается наличие параллельного пути с низким импедансом. Возможность получения очень маленького значения при ошибочном измерении проводного контура.
Двухполюсный метод	<ul style="list-style-type: none"> Удобство. Экономия времени. Ничего не нужно отключать. Не требуются штыри. 	<ul style="list-style-type: none"> Невозможность определения целостности «вспомогательного электрода». Нельзя быть уверенным в нахождении вне области влияния.

**Таблица метода вычисления угла наклона по Таггу
(2 знака после запятой)**

μ	P2/C2	μ	P2/C2	μ	P2/C2	μ	P2/C2	μ	P2/C2
	%		%		%		%		%
0,40	64,3	0,65	60,6	0,90	56,2	1,15	50,7	1,40	43,1
0,41	64,2	0,66	60,4	0,91	56,0	1,16	50,4	1,41	42,7
0,42	64,0	0,67	60,2	0,92	55,8	1,17	50,2	1,42	42,3
0,43	63,9	0,68	60,1	0,93	55,6	1,18	49,9	1,43	41,8
0,44	63,7	0,69	59,9	0,94	55,4	1,19	49,7	1,44	41,4
0,45	63,6	0,70	59,7	0,95	55,2	1,20	49,4	1,45	41,0
0,46	63,5	0,71	59,6	0,96	55,0	1,21	49,1	1,46	40,6
0,47	63,3	0,72	59,4	0,97	54,8	1,22	48,8	1,47	40,1
0,48	63,2	0,73	59,2	0,98	54,6	1,23	48,6	1,48	39,7
0,49	63,0	0,74	59,1	0,99	54,4	1,24	48,3	1,49	39,3
0,50	62,9	0,75	58,9	1,00	54,2	1,25	48,0	1,50	38,9
0,51	62,7	0,76	58,7	1,01	53,9	1,26	47,7	1,51	38,4
0,52	62,6	0,77	58,5	1,02	53,7	1,27	47,4	1,52	37,9
0,53	62,4	0,78	58,4	1,03	53,5	1,28	47,1	1,53	37,4
0,54	62,3	0,79	58,2	1,04	53,3	1,29	46,8	1,54	36,9
0,55	62,1	0,80	58,0	1,05	53,1	1,30	46,5	1,55	36,4
0,56	62,0	0,81	57,9	1,06	52,8	1,31	46,2	1,56	35,8
0,57	61,8	0,82	57,7	1,07	52,6	1,32	45,8	1,57	35,2
0,58	61,7	0,83	57,5	1,08	52,4	1,33	45,5	1,58	34,7
0,59	61,5	0,84	57,3	1,09	52,2	1,34	45,2	1,59	34,1
0,60	61,4	0,85	57,1	1,10	51,9	1,35	44,8		
0,61	61,2	0,86	56,9	1,11	51,7	1,36	44,5		
0,62	61,0	0,87	56,7	1,12	51,4	1,37	44,1		
0,63	60,9	0,88	56,6	1,13	51,2	1,38	43,8		
0,64	60,7	0,89	56,4	1,14	50,9	1,39	43,4		

Fluke. Мы приводим ваш мир
в движение.®

Fluke Corporation
PO Box 9090, Everett, WA USA 98206

Fluke Europe B.V.
PO Box 1186, 5602 BD
Eindhoven, The Netherlands

За дополнительной информацией обращайтесь
по телефону:
В США (800) 443-5853 или
Факс (425) 446-5116
В Европе/Бл. Востоке/Африке (31 40) 2 675 200 или
Факс (31 40) 2 675 222
В Канаде (800)36-FLUKE или
Факс (905) 890-6866
Из других стран +1 (425) 446-5500 или
Факс +1 (425) 446-5116
Адрес в Интернете: <http://www.fluke.com>

Fluke Россия:
email: info@fluke.ru
факс: (495) 231-7046
Адрес в Интернете: www.fluke.ru

© 2005 Fluke Corporation. Все права защищены.
Напечатано в Нидерландах
06/2006 2550440 A-EN-N Rev. A PubJD: 11095-rus