

**FLUKE®**

# Сопротивление заземления



**Принципы,  
методы контроля  
и области  
применения**

**ДИАГНОСТИКА**  
несистематических  
неисправностей  
электрооборудования

**ИСКЛЮЧЕНИЕ**  
внеплановых  
простоев

**ИЗУЧЕНИЕ**  
принципов работы  
защитного заземления



# Зачем заземлять и зачем проверять сопротивление заземления?

## Зачем заземлять?

Некачественное заземление не только вызывает увеличение времени незапланированных простоев; ненадлежащее заземление создает опасность для людей и увеличивает риск повреждения оборудования.

Отсутствие надежной системы защитного заземления создает опасность поражения электрическим током, может вызывать искажение результатов измерений, возникновение гармонических искажений, изменение коэффициента мощности и множества других несистематических проблем. В случае возникновения короткого замыкания при отсутствии надлежащего защитного заземления ток потечет по непредсказуемому пути и может пройти через тело человека. Стандарты и рекомендации по выполнению защитного заземления были разработаны следующими организациями:

- Управление по технике безопасности и гигиене труда (OSHA);
- Национальная ассоциация пожарной безопасности (NFPA);
- Американский национальный институт стандартов и Американское общество приборостроения (ANSI/ISA);
- Ассоциация телекоммуникационной промышленности (TIA);
- Международная электротехническая комиссия (МЭК/IEC);
- Европейский комитет по стандартизации в электротехнике (CENELEC);
- Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE).

Качественное заземление требуется не только для обеспечения безопасности, оно также предотвращает повреждение промышленного оборудования и приборов. Качественная система заземления повышает надежность оборудования и снижает вероятность его повреждения от удара молнии или короткого замыкания. Ежегодный ущерб от возгораний электротехнических систем исчисляется миллиардами долларов. К этому следует добавить судебные издержки, а также снижение производительности труда конкретного сотрудника и всего предприятия в целом.

## Почему необходимо проверять системы заземления?

Заземляющие стержни и их соединения в коррозионно-агрессивном грунте с высоким содержанием влаги и солей и под воздействием высоких температур со временем разрушаются. После установки система заземления имеет низкое сопротивление, но мере истончения заземляющих стержней сопротивление заземления увеличивается.

Измерители сопротивления заземления, например, клещи для проверки заземления Fluke 1630-2 FC, незаменимы при поиске и устранении неисправностей для обеспечения надежного функционирования систем заземления. Возникновение несистематических проблем электрооборудования могут быть связаны с некачественным заземлением или с некачественной электроэнергией.

Вот почему настоятельно рекомендуется проверять заземлители и заземляющие проводники не реже одного раза в год в составе работ по профилактическому техническому обслуживанию. Если при проведении периодических проверок измерения показывают увеличение сопротивления заземления более чем на 20 %, технический персонал должен определить источник проблемы и выполнить действия по снижению сопротивления методом замены дефектных или установки дополнительных стержней в систему заземления.

## Что такое заземление и как оно работает?

В статье 100 Национального электротехнического кодекса США (NEC) содержится следующее определение заземления: «проводящее соединение (устроенное специально или непреднамеренно), через которое электрическая цепь или оборудование соединяется с землей или проводящим телом, заменяющим землю». Выделяют две системы заземления: заземление сети электроснабжения и заземление оборудования. Заземление сети электроснабжения — это преднамеренное соединение проводника сети, обычно нейтрального, с заземляющим электродом, помещенным в землю. Заземление оборудования предполагает, что подключенное к сети электроснабжения оборудование надлежащим образом соединено с заземлением. Две описанные системы заземления должны быть отделены друг от друга, кроме точки соединения двух систем. Это позволяет избежать образования разности потенциалов напряжения при возможном возникновении дуги от разряда молнии. Заземление используется не только для защиты людей, промышленных установок и оборудования, но и для обеспечения безопасного пути растекания токов короткого замыкания, ударов молний, статических разрядов, электромагнитных и радиочастотных сигналов и помех.

## Каким должно быть сопротивление заземления?

Существуют разные мнения о том, что такое качественное заземление и каким должно быть сопротивление заземления. В идеале, сопротивление заземления должно быть равно нулю.

Не существует единого значения сопротивления заземления, которое принималось бы в качестве стандартного всеми организациями. Национальная ассоциация пожарной безопасности (NFPA) и Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) рекомендуют принимать за нормальное значение сопротивления заземления сопротивление значением 5 Ом и менее.

Пункт 250.56 Национального электротехнического кодекса США (NEC) гласит: «Убедитесь в том, что полное сопротивление системы заземления составляет менее 25 Ом. Сопротивление заземления для чувствительного оборудования не должно превышать 5 Ом».

На предприятиях электросвязи допустимой величиной сопротивления заземления в большинстве случаев считается 5 Ом и менее.

Следует стремиться к достижению минимального возможного значения сопротивления заземления, оправданного с экономической и физической точки зрения.



Почему необходимо проводить проверку? Агрессивный грунт.



Для чего нужно заземление? Разряды молнии.



Применяйте измеритель Fluke 1625-2 для определения исправности своей системы заземления.

## Содержание

2

Для чего нужно заземление?  
Почему необходимо проводить проверку

4

Основные принципы правильного заземления

6

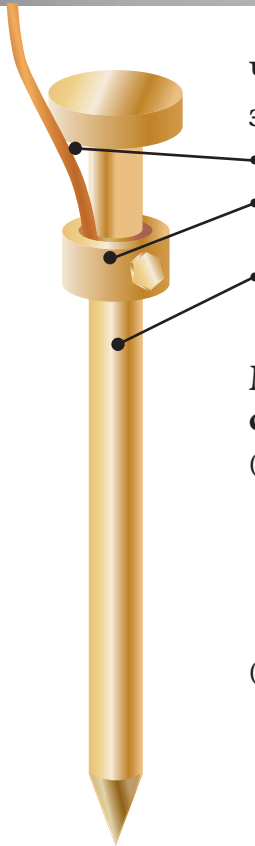
Методы измерения сопротивления в системе заземления

12

Измерение сопротивления заземления

# Основные принципы правильного заземления

## Части заземляющего электрода

- 
- Заземляющий провод
  - Соединение между заземляющим проводом и заземляющим электродом
  - Заземляющий электрод

## Места возникновения сопротивления

### (а) Заземляющие электрод и соединение с ним

Сопротивление заземляющего электрода и соединения с ним обычно весьма низкое. Заземляющие стержни обычно изготавливают из материалов с высокой проводимостью и низким сопротивлением, например, из стали или меди.

### (b) Электрическое сопротивление электрода и окружающего грунта

Американский национальный институт стандартов (государственная организация, входящая в состав Министерства торговли США) доказал, что значением этого сопротивления можно пренебречь при условии, что заземляющий электрод не покрыт краской, смазкой и т. п. и имеет надежный контакт с грунтом.

### (с) Электрическое сопротивление окружающего грунта

Заземляющий электрод погружен в землю, которую для расчета сопротивления представляют в виде расположенных вокруг электрода концентрических слоев грунта одинаковой толщины. Слои, расположенные ближе к электроду, имеют наименьшую площадь контакта и, соответственно, максимальное сопротивление. Площадь контакта каждого следующего слоя увеличивается, что снижает сопротивление. Таким образом, по мере удаления от заземляющего электрода электрическое сопротивление окружающего слоя грунта становится пренебрежимо малым.

Представленная модель позволяет найти способы снижения сопротивления при устройстве систем заземления.

## Что влияет на сопротивление заземления?

Во-первых, согласно требованиям Национального электротехнического кодекса (1987 г., 250-83-3), минимальная длина контактирующей с землей части заземляющего электрода должна составлять 2,5 м (8 футов). При этом имеется четыре переменных, влияющих на сопротивление системы заземления:

1. Длина/глубина заземляющего электрода
2. Диаметр заземляющего электрода
3. Количество заземляющих электродов
4. Конструкция системы заземления

## Длина/глубина заземляющего электрода

Одним из самых эффективных способов снижения сопротивления заземления является увеличение заглубления заземляющего электрода. Плотность грунта непостоянна и его сопротивление может быть непредсказуемо. При установке заземляющего электрода важно расположить его ниже глубины промерзания грунта, чтобы не допустить существенного изменения сопротивления заземлителя при промерзании окружающего грунта.

Обычно увеличение длины заземляющего электрода в два раза может снизить сопротивление на 40 %. В случаях, когда физически невозможно увеличить заглубление заземляющих стержней (в скальном грунте, с преобладанием гранита и др.), применяются альтернативные способы заземления, в том числе использование специального заземляющего цемента.

## Диаметр заземляющего электрода

Увеличение диаметра заземляющего электрода слабо влияет на сопротивление заземления. Например, при удвоении диаметра заземляющего электрода сопротивление уменьшается всего на 10 %.

### Количество заземляющих электродов

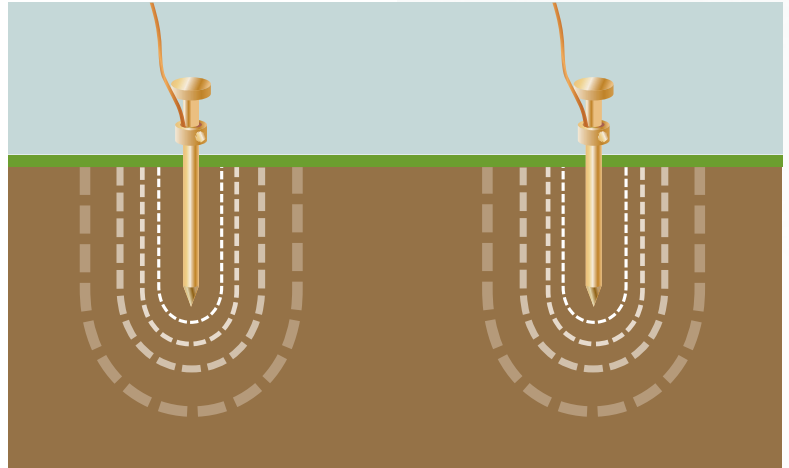
Другой способ снижения сопротивления заземления — использование нескольких заземляющих электродов. При такой конструкции для уменьшения сопротивления в грунт одновременно заглубляют несколько соединенных параллельно электродов. Для эффективной работы дополнительных электродов расстояние между ними должно быть не меньше глубины установки электрода. При недостаточном расстоянии между электродами из зоны растекания пересекаются, и сопротивление заземления не уменьшается.

Для правильной установки заземляющих стержней и получения требуемого сопротивления заземления воспользуйтесь приведенной ниже таблицей значений удельного электрического сопротивления грунта. Помните, что приведенные в таблице рекомендации следует проверять на практике, поскольку грунт часто бывает неоднородным, вследствие чего значение сопротивления может сильно меняться.

### Конструкция системы заземления

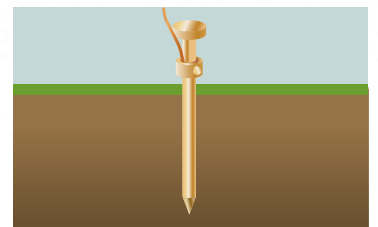
Простые системы заземления имеют один заглубленный в грунт заземляющий электрод. Использование одиночного электрода является наиболее распространенным вариантом заземления, такое заземление часто можно увидеть вблизи жилых и офисных зданий. Сложные системы заземления имеют множественные заземляющие стержни, соединенные между собой в сетчатую или ячеистую структуру, заземляющие пластины или объединены в контур. Такие системы обычно устраивают на генерирующих подстанциях, районных АТС и возле мачт сотовой связи.

Сложные системы имеют гораздо большую площадь контакта с грунтом и существенно меньшее сопротивление заземления.

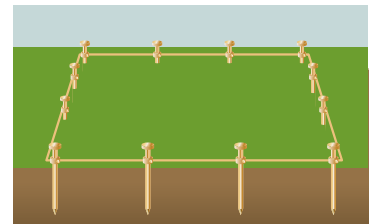


Каждый заземляющий электрод имеет некоторую зону влияния.

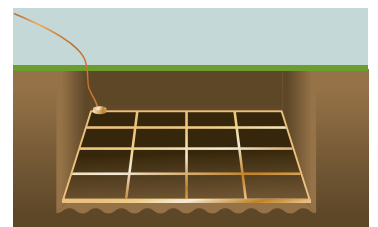
### Системы заземления



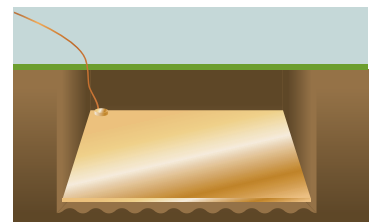
Одиночный заземляющий электрод



Комплект соединенных между собой заземляющих электродов



Заземляющая сеть



Заземляющая пластина

Тип грунта	Сопротивление грунта $R_{\text{г}}$ Ом·М	Сопротивление заземления					
		Глубина расположения заземляющего электрода, м			Длина заземляющей шины, м		
		3	6	10	5	10	20
Очень влажный (болотистый) грунт	30	10	5	3	12	6	3
Чернозем, глинозем	100	33	17	10	40	20	10
Суглинок	150	50	25	15	60	30	15
Влажный песчаный грунт	300	66	33	20	80	40	20
Бетон 1:5	400	—	—	—	160	80	40
Влажный гравий	500	160	80	48	200	100	50
Сухой песчаный грунт	1000	330	165	100	400	200	100
Сухой гравий	1000	330	165	100	400	200	100
Каменистый грунт	30 000	1000	500	300	1200	600	300
Скальная порода	$10^7$	—	—	—	—	—	—

# Какие существуют методы проверки сопротивления систем заземления?

Существует четыре метода проверки заземления:

- **измерение сопротивления грунта** (с помощью электродов);
- **измерение падения напряжения** (с помощью электродов);
- **выборочное измерение** (с помощью одного комплекта клещей и электродов);
- **безэлектродное измерение** (только с помощью клещей).

## Измерение сопротивления грунта

### Зачем измерять сопротивление грунта?

Сопротивление грунта важно знать при проектировании новой системы заземления (на новой площадке строительства) для достижения заданной величины сопротивления заземления. Идеальным вариантом является выявление зон с минимальным возможным сопротивлением. Однако, как обсуждалось выше, неблагоприятные характеристики грунта можно компенсировать устройством более сложной системы заземления.

На сопротивление грунта влияет его состав, влажность и температура окружающей среды. Грунт редко бывает однородным, поэтому электрическое сопротивление грунта различается по географическим зонам и по глубине. Уровень влажности грунта зависит от времени года, типа залегающих слоев грунта и постоянного уровня грунтовых вод. Так как с увеличением глубины основные характеристики грунта и его влажность стабилизируются, заземляющие стержни рекомендуется устанавливать как можно глубже, по возможности в слое грунтовых вод. Кроме того, заземляющие стержни следует устанавливать в зонах с постоянной температурой, то есть ниже глубины промерзания.

Для эффективной работы системы заземления при выполнении проектных расчетов следует использовать максимально неблагоприятные условия эксплуатации.

## Как рассчитать сопротивление грунта

Описанная ниже процедура измерения основана на общепринятом методе Веннера. Д-р Фрэнк Веннер, сотрудник Государственного бюро стандартов США, разработал этот метод в 1915 году. (F. Wenner, A Method of Measuring Earth Resistivity; Bull, National Bureau of Standards, Bull 12(4) 258, p. 478-496; 1915/16 — Ф. Веннер. Метод измерения сопротивления грунта. Bull, National Bureau of Standards, Bull 12(4) 258, p. 478-496; 1915/16)

Применяется следующая формула:

$$\rho = 2 \pi A R$$

( $\rho$  — среднее сопротивление грунта до глубины  $A$ , Ом·см;

$$\pi = 3,1416;$$

$A$  — расстояние между электродами, см;

$R$  — значение сопротивления, измеренное тестовым прибором, Ом.

**Примечание:** чтобы перевести ом-сантиметры в ом-метры, нужно разделить значение в ом-сантиметрах на 100. Следует контролировать единицы измерения.

**Например:** принято решение использовать в системе заземляющие стержни длиной три метра. Чтобы измерить сопротивление грунта на глубине трех метров, примем расстояние между измерительными электродами равным девяти метрам.

Чтобы измерить сопротивление грунта, включите измеритель Fluke 1625-2 и считайте сопротивление в омах. Допустим, полученное значение равно 100 Ом. Таким образом, мы знаем:

$$A = 9 \text{ м,}$$

$$R = 100 \text{ Ом,}$$

сопротивление грунта равно:

$$\rho = 2 \times \pi \times A \times R$$

$$\rho = 2 \times 3,1416 \times 9 \text{ м} \times 100 \text{ Ом}$$

$$\rho = 5 \text{ 655 Ом}\cdot\text{м}$$

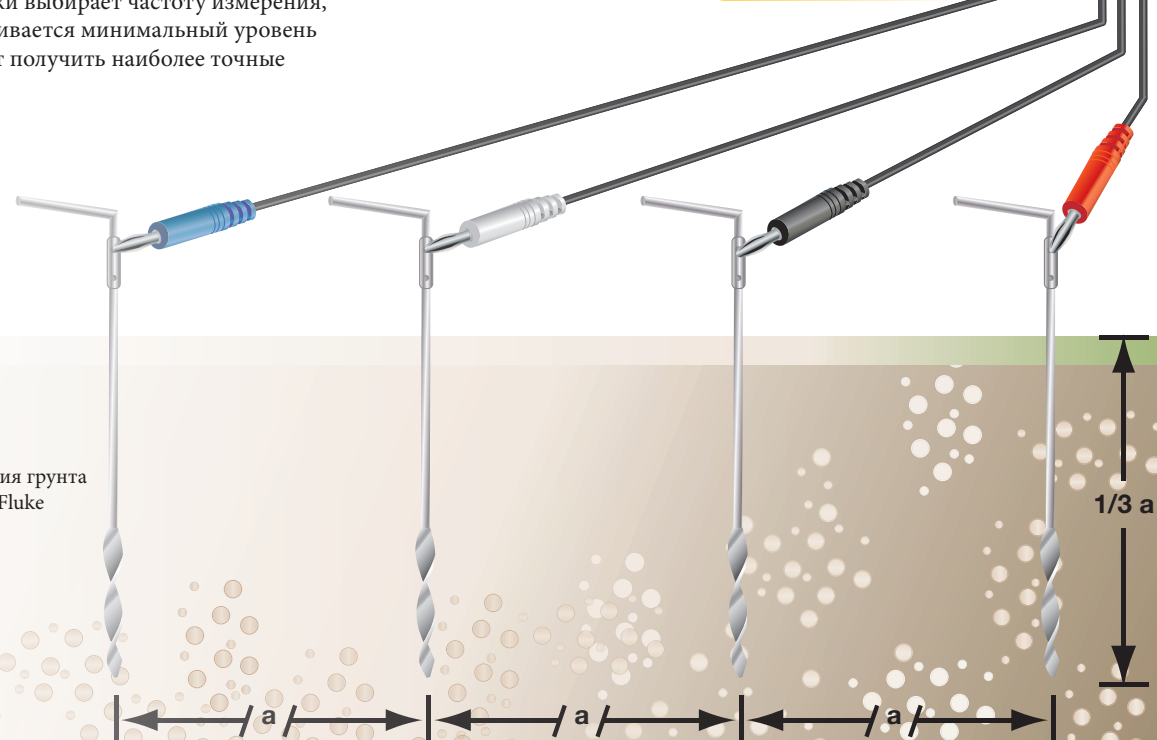
## Как измерить сопротивление грунта

Чтобы измерить сопротивление грунта, подключите измеритель сопротивления заземления, как показано ниже.

Как можно видеть, четыре заземляющих электрода помещены в грунт на равном расстоянии друг от друга и расположены на одной прямой. Расстояние между заземляющими электродами должно быть как минимум в три раза больше длины электрода. Если длина каждого заземляющего электрода составляет 30 см (1 фут), убедитесь в том, что расстояние между электродами составляет не менее 91 см (3 футов). Измеритель Fluke 1625-2 генерирует ток определенной величины и подает его на два внешних электрода, измеряя падение напряжения между двумя внутренними заземляющими электродами. Измеритель Fluke автоматически рассчитывает сопротивление грунта по закону Ома ( $V = IR$ ).

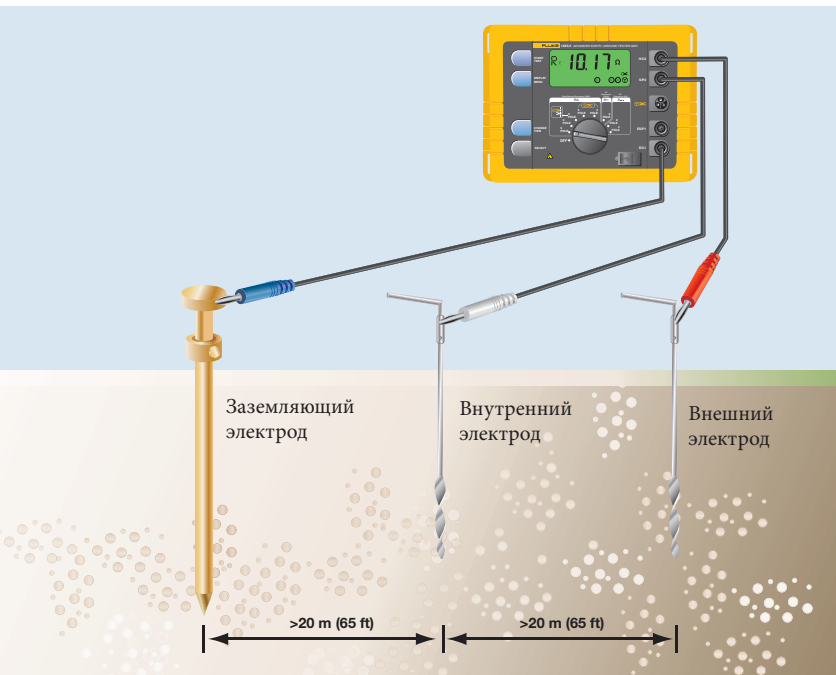
Так как на результаты измерений часто оказывают влияние подземные металлоконструкции, водоносные слои и т. п., рекомендуется всегда проводить повторные измерения, развернув оси электродов под прямым углом. Серия измерений с изменением заглубления электродов и расстояния между ними, позволит определить геофизический профиль площадки и выбрать подходящую систему заземления.

Значения, полученные при измерении сопротивления грунта, часто искажаются под влиянием блуждающих токов и их гармоник. Чтобы компенсировать их влияние, измеритель Fluke 1625-2 снабжен системой автоматической подстройки частоты (АПЧ). Эта система автоматически выбирает частоту измерения, при которой обеспечивается минимальный уровень шумов, что позволяет получить наиболее точные результаты.



Конфигурация системы измерения сопротивления грунта с помощью измерителя Fluke 1623-2 или 1625-2.

# Какие существуют методы проверки сопротивления систем заземления?



## Измерение падения напряжения

Методом измерения падения напряжения определяют способность системы заземления (или отдельного электрода) рассеивать энергию, поступающую от защищаемого оборудования.

## Как выполняют измерения методом падения напряжения

Сначала проверяемый заземляющий электрод отсоединяют от системы. Затем к этому заземляющему электроду подключают измеритель. Для выполнения измерений по трехпроводной схеме два заземляющих электрода устанавливают в грунт на одной линии с проверяемым заземляющим электродом. Обычно достаточно разместить электроды на расстоянии 20 метров друг от друга. Более подробные указания по установке электродов приведены в следующем разделе.

Измеритель Fluke 1625-2 генерирует электрический ток известной величины между внешним электродом (вспомогательным электродом заземления) и заземляющим электродом, измеряя падение напряжения между внутренним электродом и заземляющим электродом. Измеритель автоматически вычисляет сопротивление по закону Ома ( $V = IR$ ).

Подключите измеритель сопротивления заземления, как показано на рисунке. Нажмите кнопку START (Пуск). На дисплее отобразится значение сопротивления ( $R_E$ ). Это фактическое сопротивление проверяемого заземляющего электрода. Если этот заземляющий электрод соединен с другими заземляющими стержнями (параллельно или последовательно), значение  $R_E$  представляет собой их суммарное сопротивление.

## Как размещать электроды

Чтобы максимально точно измерить сопротивление грунтового заземления методом трехпроводных измерений падения напряжения, необходимо установить щуп вне зоны эффективного сопротивления проверяемого заземляющего электрода и вспомогательного электрода.

В противном случае эффективные зоны сопротивления пересекутся; в результате все измерения дадут недостоверный результат. В таблице приведены рекомендации по размещению щупа (внутреннего электрода) и вспомогательного (внешнего) электрода.

Чтобы удостовериться в точности результатов и гарантировать, что зоны эффективного сопротивления электродов не пересекаются, переместите внутренний электрод (щуп) на один метр в любом направлении и повторите измерение. Если показание изменилось существенно (не менее чем на 30%), необходимо увеличить расстояние между проверяемым заземляющим электродом, щупом (внутренним электродом) и вспомогательным (внешним) электродом. Это расстояние следует увеличивать до тех пор, пока результат измерения не перестанет меняться при перемещении щупа.

Глубина установки заземляющего электрода	Расстояние до внутреннего электрода	Расстояние до внешнего электрода
2 м	15 м	25 м
3 м	20 м	30 м
6 м	25 м	40 м
10 м	30 м	50 м



## Выборочное измерение

Метод выборочного измерения очень похож на метод проверки падения напряжения. Выполняются те же самые измерения, но намного проще и безопаснее. Это связано с тем, что подлежащий проверке заземляющий электрод не нужно отсоединять от защищаемой системы! Как следствие, опасности не подвергаются ни выполняющий измерения специалист (ему не приходится отсоединять заземляющий провод), ни защищаемое оборудование или персонал в защищаемом здании (им не приходится оставаться без защиты).

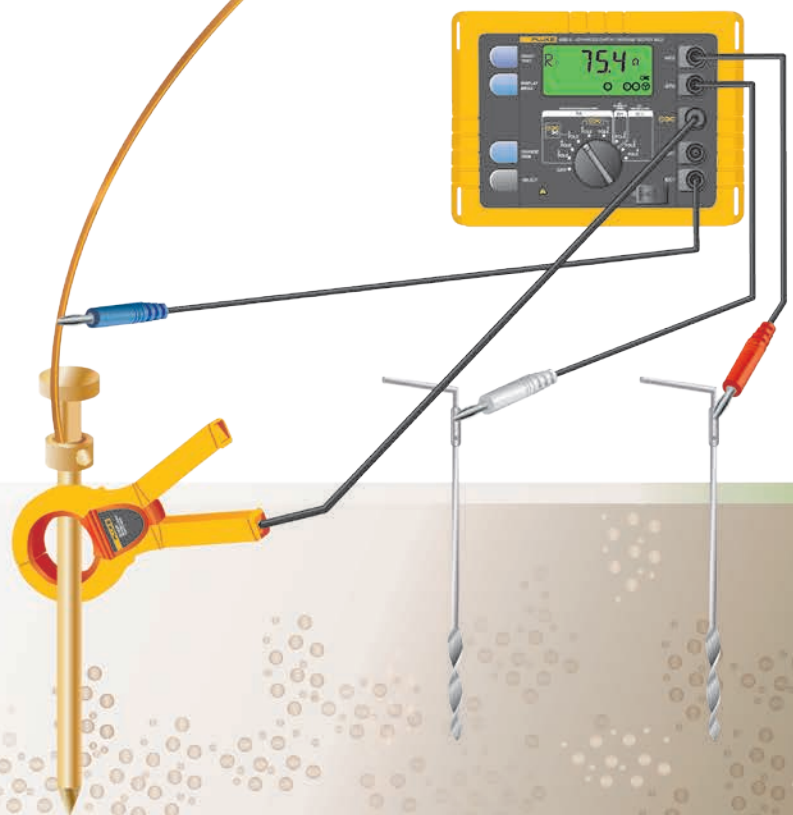
Как и в методе проверки Падения нАпряжения, два заземляющих электрода располагаются на удалении от проверяемого электрода (все три на одной линии). Обычно достаточно разместить электроды на расстоянии 20 метров друг от друга. Затем к проверяемому заземляющему электроду подключают измеритель. При этом электрод не нужно отсоединять от защищаемой системы. Вместо этого заземляющий электрод охватывают специальными клещами, устраняющими влияние параллельно установленных заземляющих стержней. В результате измеряется сопротивление только проверяемого заземляющего электрода.

Как и в предыдущем методе, измеритель Fluke 1625-2 подает электрический ток известной величины на внешний электрод (вспомогательный электрод заземления) и заземляющий электродом, измеряя падение напряжения между внутренним электродом и заземляющим электродом. Благодаря клещам измеряется только ток, протекающий через проверяемый заземляющий электрод. Ток будет протекать и через другие параллельные сопротивления, однако для расчета сопротивления по формуле  $V = IR$  будет учитываться только ток, протекающий через электрод, охваченный клещами.

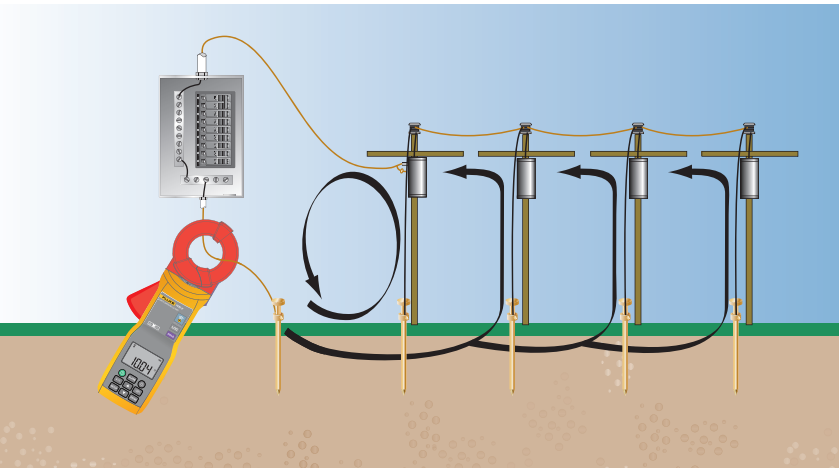
Если требуется определить общее сопротивление системы заземления, необходимо измерить сопротивление каждого заземляющего электрода, поочередно охватывая их клещами. После этого можно вычислить общее сопротивление системы заземления.

При проверке сопротивления отдельных заземляющих электродов опоры высоковольтной линии электропередач с воздушными заземляющими проводами или грозозащитными тросами необходимо отсоединять эти провода и тросы от электродов. Если в основании опоры электропередач имеется несколько точек заземления, их также необходимо отсоединять по одной и проверять. Однако в дополнение к измерителю Fluke 1625-2 можно приобрести клещевой трансформатор тока диаметром 320 мм (12,7 дюйма). С его помощью можно измерять сопротивление на каждом выводе, не отсоединяя заземляющие провода, воздушные заземляющие провода и грозозащитные тросы.

Подключите измеритель сопротивления заземления, как показано на рисунке. Нажмите кнопку START (Пуск). На дисплее отобразится значение сопротивления ( $R_E$ ). Это фактическое сопротивление проверяемого заземляющего электрода.



# Какие существуют методы проверки сопротивления систем заземления?



Пути прохождения испытательного тока при выполнении измерений безэлектродным методом с помощью клещей для проверки заземления 1630-2 FC.

## Безэлектродное измерение

Клещами для проверки заземления Fluke 1630-2 FC можно безэлектродным методом измерять сопротивление в многоточечных системах заземления. Эта техника тестирования исключает опасность и трудоемкую работу по отключению параллельных заземлений, а также необходимость поиска подходящих мест для вспомогательных электродов заземления. Также этот метод позволяет проверять заземление в местах, где невозможно применение других методов: внутри зданий, на опорах ЛЭП или там, где затруднен доступ к поверхности земли.

Клещи для проверки заземления располагаются вокруг заземляющего стержня или соединительного кабеля. Дополнительные заземляющие электроды не используются. Источник, встроенный в клещи, индуцирует известное напряжение, при этом ток измеряется датчиком клещей. Клещи автоматически определяют сопротивление контура заземления для данного соединения. Этот метод предназначен для измерения сопротивления контуров заземлений в системах с многоточечным заземлением (обычно располагаются в сооружениях коммерческого или промышленного назначения). При наличии единственного заземляющего контура, что часто бывает во многих жилых домах, безэлектродный метод оказывается неэффективным, поэтому необходимо использовать метод проверки падения напряжения.

Принцип работы клещей Fluke 1630-2 FC базируется на предположении, что в многоточечных системах заземления (или системах с параллельными заземляющими контурами) суммарное сопротивление всех заземляющих контуров намного ниже сопротивления любого отдельно взятого контура (в том числе и проверяемого). Поэтому суммарное сопротивление всех заземляющих контуров можно считать нулевым. Безэлектродный метод позволяет измерить только сопротивление отдельных заземляющих стержней, установленных параллельно системам грунтового заземления. Если система заземления не параллельна земле, это может означать разрыв в цепи или же будет измерено сопротивление заземляющего контура.



Конфигурация системы для измерения безэлектродным методом с помощью заземляющих клещей 1630-2 FC.

## Измерение импеданса заземления

При расчете возможных токов короткого замыкания в электростанциях и других установках с высокими токами или напряжениями важно определить полное сопротивление заземления. В полном сопротивлении (импеданс), кроме резистивного сопротивления, учитываются индуктивное и емкостное сопротивления. Поскольку в большинстве случаев индуктивность и сопротивление отдельных компонентов известны, фактический импеданс можно определить путем вычислений.

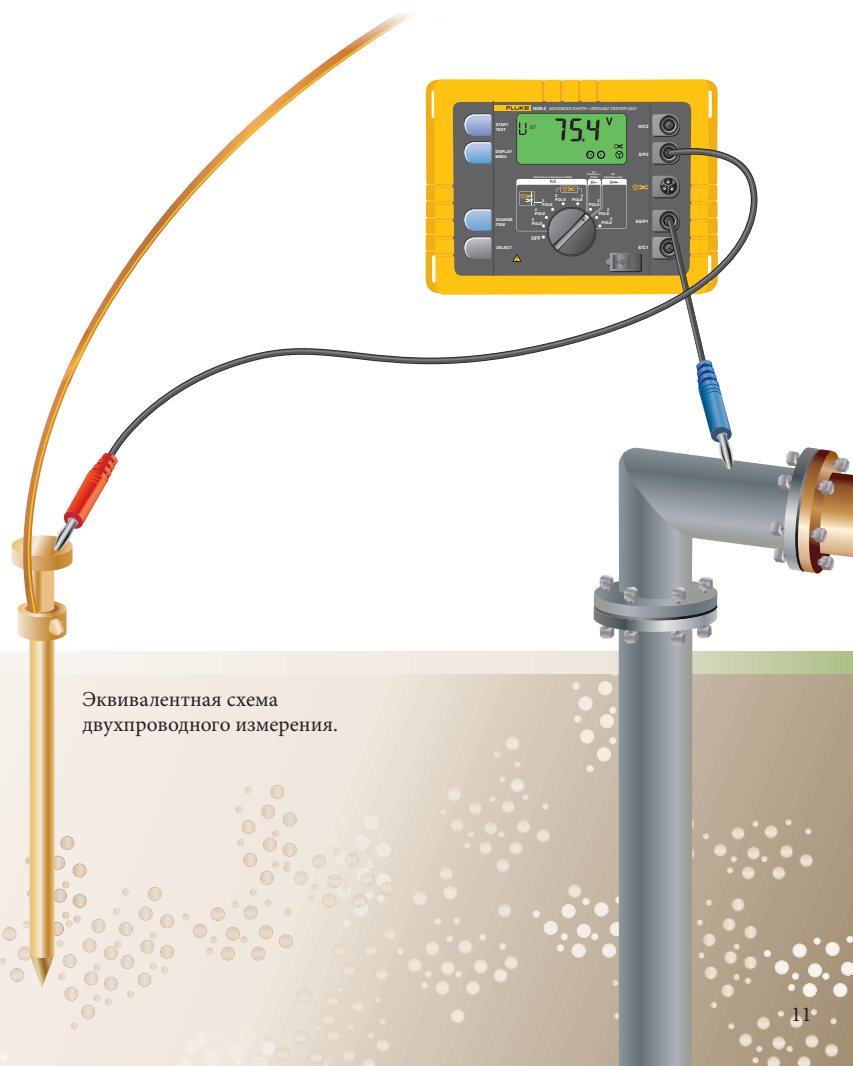
Поскольку импеданс зависит от частоты, сигнал измерителя Fluke 1625-2 имеет частоту 55 Гц, максимально приближенную к частоте рабочего напряжения. Это гарантирует, что результат измерения будет приблизительно равен значению, имеющему место при фактической рабочей частоте. Использование этой особенности измерителя Fluke 1625-2 позволяет измерять импеданс заземления с высокой точностью.

Для специалистов, обслуживающих высоковольтные линии электропередач, важны два показателя: сопротивление заземления при ударе молнии и импеданс всей системы в случае короткого замыкания в конкретной точке линии. В данном случае под коротким замыканием подразумевается обрыв проводов с касанием металлической опоры ЛЭП.

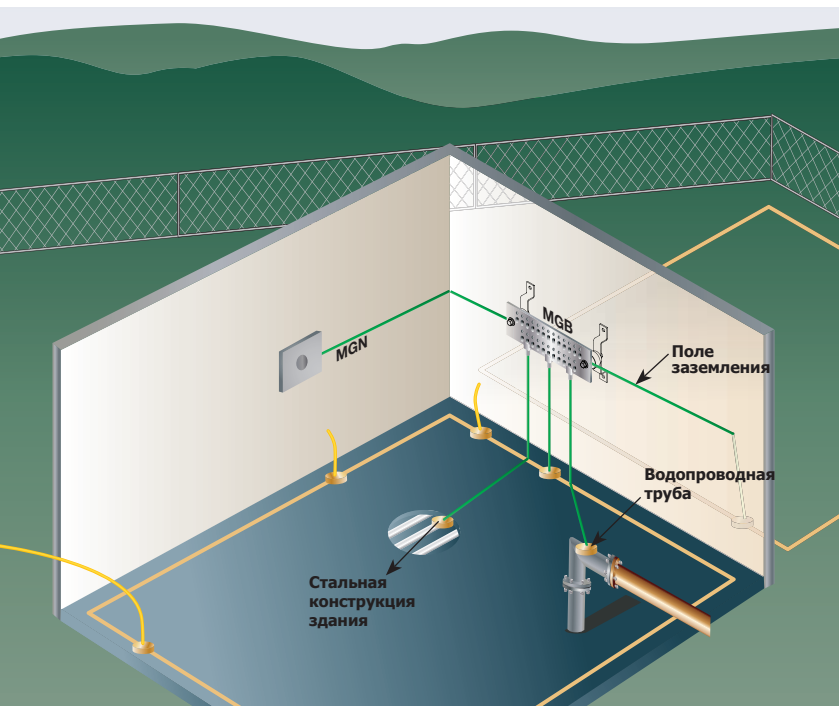
## Двухполюсное измерение сопротивления заземления

В ситуациях, когда установка заземляющих электродов нецелесообразна или невозможна, посредством измерителя Fluke 1623-2 или 1625-2 можно осуществить двухпроводное измерение сопротивления заземления (см. рисунок ниже).

Для этого необходим доступ к заведомо надежному источнику заземления (например, к цельнометаллической водопроводной трубе). Эта водопроводная труба должна быть достаточно длинной; ее металлическая поверхность не должна прерываться муфтами или фланцами из изолирующих материалов. В отличие от других измерителей модели Fluke 1623-2 и 1625-2 используют сравнительно большой испытательный ток (ток короткого замыкания свыше 250 мА), что гарантирует устойчивые результаты.



# Измерение сопротивления заземления



Типичная компоновка оборудования в центральной АТС.

## Измерения в центральных АТС

При проведении проверок заземления центральной АТС используется три вида измерения.

Перед проверкой найдите магистральную шину заземления центральной АТС (MGB), чтобы определить, какой тип заземляющей системы используется. Как показано на этой странице, заземляющие проводники соединяют магистральную шину заземления с:

- нейтралью с многоточечным заземлением или входящими линиями питания;
- полем заземления;
- водопроводной трубой и
- стальной металлоконструкцией здания.

Сначала следует выполнить безэлектродный тест на всех заземляющих проводах, отходящих от магистральной шины заземления. Целью этой проверки является необходимость убедиться в том, что все заземляющие провода, особенно нейтраль с многоточечным заземлением, подключены. Помните, что вы измеряете не сопротивление отдельных элементов, а сопротивление контура, к которому подсоединен измеритель. Чтобы измерить сопротивление контура нейтрали с многоточечным заземлением, системы заземлителей, водопроводной трубы и стальной конструкции здания, подключите измеритель Fluke 1625-2 или 1623-2, а также индуцирующие и измеряющие клещи, вокруг каждого соединения, как показано на рисунке 1.

Затем выполните трехпроводные измерения Падения Напряжения всей системы заземления, подсоединившись к магистральной шине заземления, как показано на рисунке 2. Чтобы обеспечить удаленное заземление, многие телефонные компании используют незадействованные пары проводников в кабелях длиной до мили. Запишите результаты измерений. Повторяйте проверку не реже одного раза в год.

Теперь с помощью измерителя Fluke 1625-2 или 1623-2 определите сопротивление отдельных элементов системы заземления, используя режим выборочного измерения. Подключите измеритель Fluke, как показано на рисунке 3. Измерьте сопротивление многоточечного заземления нейтрали; полученное значение соответствует сопротивлению главного заземляющего стержня. Затем измерьте поле заземления (системы заземлителей). Полученное значение соответствует фактическому сопротивлению поля заземления центральных АТС. Продолжите измерения на водопроводной трубе, затем определите сопротивление стальной конструкции здания. Точность измерений легко проверяется при помощи закона Ома. Расчетное сопротивление отдельных выводов должно быть равно сопротивлению всей системы (допускается небольшая погрешность, так как может быть измерено сопротивление не всех заземляющих элементов).

Такие методы измерения обеспечивают максимальную точность измерений в центральных АТС, так как позволяют получить значения сопротивления каждого элемента как по отдельности, так и при подключении к общей системе заземления. Несмотря на достигнутую точность, результаты измерения не отображают схему поведения системы в целом, так как в случае разряда молнии или при токе короткого замыкания все элементы системы соединены.

**Чтобы убедиться в этом, необходимо выполнить несколько дополнительных измерений сопротивления отдельных элементов.**

Сначала выполните трехпроводные измерения Падения Напряжения на каждом выводе магистральной шины заземления и запишите результаты каждого измерения. Используя закон Ома, что полученные значения равны сопротивлению всей системы. Разница между рассчитанными значениями и общим значением сопротивления ( $R_{\Sigma}$ ) может составлять от 20 до 30 %.

Теперь следует измерить сопротивление разных выводов заземляющего контура, используя Выборочный Безэлектродный метод. Этот метод похож на Безэлектродный метод, но предполагает использование двоих отдельных клещей. Установите индуцирующие клещи на провод, идущий к магистральной шине заземления. Это легко осуществить, так как магистральная шина заземления соединена с линией подачи электропитания, подключенной параллельно системе заземления. Установите измерительные клещи на провод заземления, выходящий из поля заземления. При измерении сопротивления вы получите фактическое значение сопротивления поля заземления и параллельной цепи магистральной шины заземления. Так как значение этого сопротивления очень низкое, оно не оказывает существенного влияния на полученные в ходе измерения результаты. Указанные измерения можно повторить для других выводов магистральной шины заземления (водопроводной трубы и стальной конструкции).

Для измерения сопротивления магистральной шины заземления Выборочным Безэлектродным методом установите индуцирующие клещи на водопроводную трубу (медная водопроводная труба имеет очень низкое сопротивление). Полученное значение сопротивления будет соответствовать сопротивлению многоточечного заземления нейтрали.

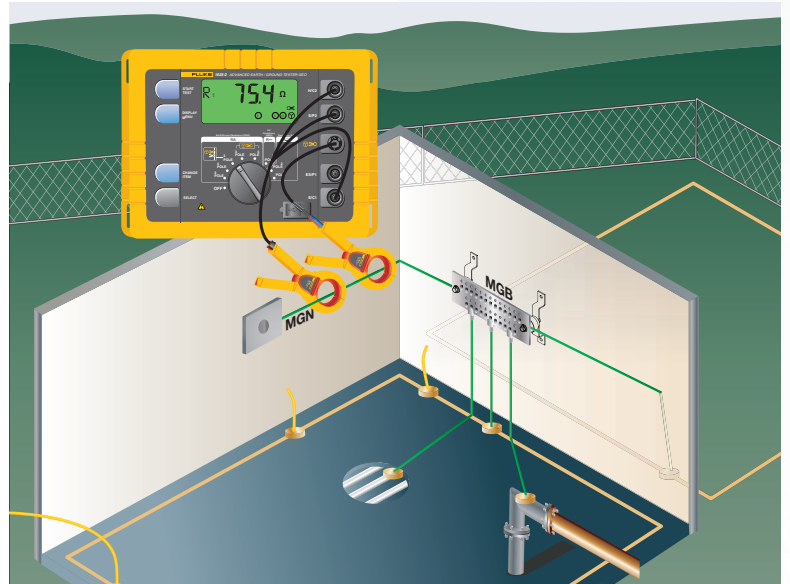


Рисунок 1. Безэлектродное тестирование в центральной АТС

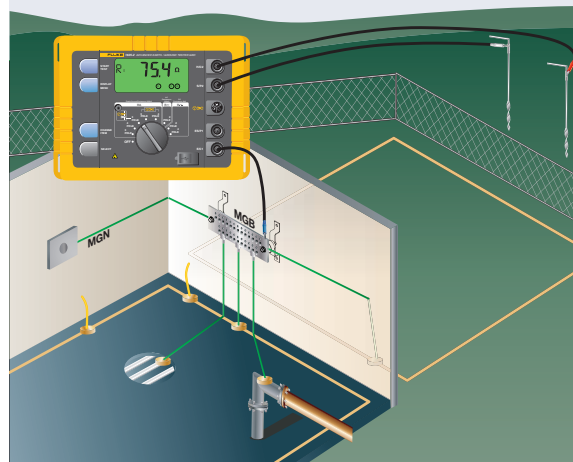


Рисунок 2. Трехпроводные измерения падения напряжения всей системы заземления

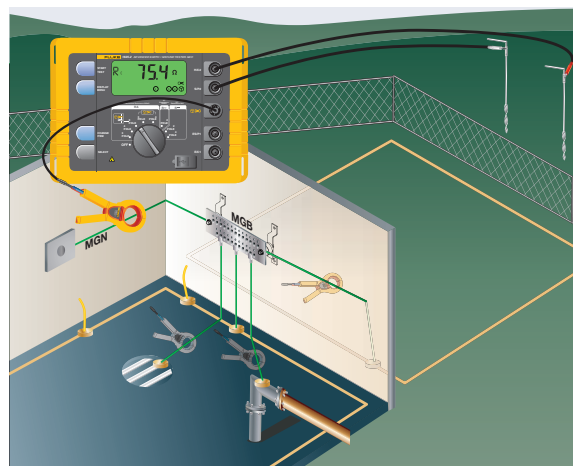
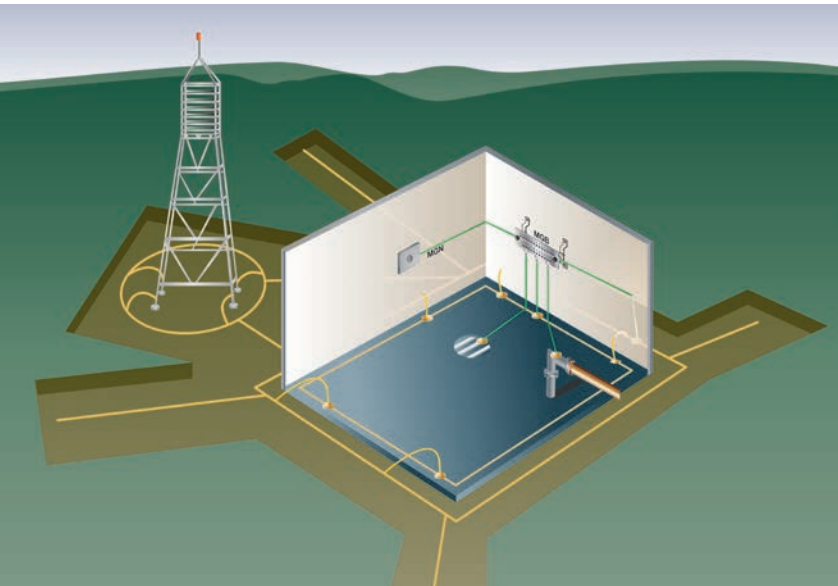


Рисунок 3. Измерение сопротивления отдельных компонентов системы заземления методом выборочного измерения

# Дополнительные примеры применения



Типичная конфигурация системы заземления мачты и будки мобильной связи

## Области применения

Существует четыре разных области применения измерителя Fluke 1625-2 для определения характеристик системы заземления.

### Места размещения мачт мобильной связи, мачт СВЧ-передатчиков и радиомачт

В большинстве случаев в указанных местах устанавливаются вышки с четырьмя стойками, каждая из которых имеет отдельное заземление. Заземлители соединяются медным проводом. Рядом с мачтой обычно размещают будку мобильной связи, в которой находится коммуникационное оборудование. Внутри здания обеспечивается система кругового заземления и используется главный заземляющий стержень, соединяющийся с этой системой. Здание мобильной связи заземлено по четырем углам, соединенными с главным заземляющим стержнем при помощи медных проводов. Заземлители всех четырех углов также соединены между собой медным проводом. Кроме того, системы контурного заземления здания и мачты тоже соединяются между собой.

## Электрические подстанции

Подстанция — это промежуточная станция, выполняющая передачу и распределение электроэнергии с преобразованием высокого напряжения в низкое. Обычно подстанция выполняет функции оконечной станции, оснащается высоковольтным распределительным устройством, одним или несколькими силовыми трансформаторами, низковольтным распределительным устройством, защитой от перенапряжения, органами управления и измерительным оборудованием.

## Станции коммутационного оборудования

Станции коммутационного оборудования, известные также как станции прерывания, оснащены концентраторами цифровых каналов и другим телекоммуникационным оборудованием. Заземление систем коммутационного оборудования обычно выполняется с одной стороны распределительного щита, а вокруг него устанавливается несколько заземляющих электродов, соединенных между собой медным проводом.

## Молниезащита коммерческих и промышленных систем

Большинство систем защиты от токов короткого замыкания, возникающих при разряде молнии, имеют одинаковую конструкцию: обычно заземляются все четыре угла здания, заземлители соединяются между собой при помощи медного провода. В зависимости от размера здания и значения сопротивления, которое необходимо обеспечить, количество заземляющих стержней может изменяться.

## Рекомендуемые испытания

Конечные пользователи должны выполнить следующие три испытания для каждой защищаемой установки или сооружения: Безэлектродное измерение, трехпроводные измерения Падения Напряжения и Выборочное измерение.

### Безэлектродное измерение

Сначала выполните безэлектродное измерение на:

- отдельных стойках мачты и четырех углах здания (для мест размещения мачт и будок мобильной связи);
- всех соединениях заземления (для электрических подстанций);
- линиях, идущих к станции коммутационного оборудования (дистанционное коммутирование);
- заземляющих электродах здания (молниезащита).

При этом во всех указанных случаях это не будет являться измерением фактического сопротивления заземления, так как сеть везде заземлена. Это измерение больше является проверкой проводимости, которая позволяет убедиться, что система заземлена, что соединения электрических компонентов исправны, и что система в состоянии проводить ток.

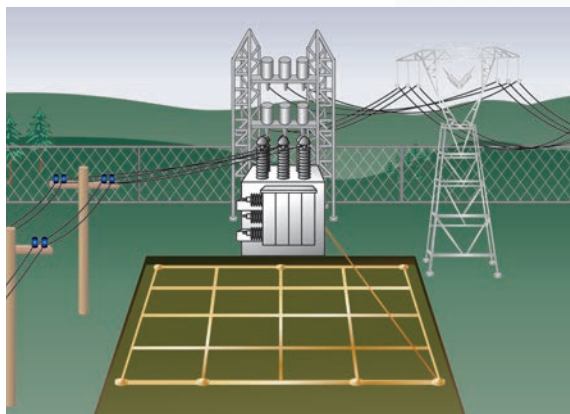
### Трехпроводные измерения Падения Напряжения

Затем измерьте сопротивление всей системы, используя трехпроводный метод измерения падения напряжения. Помните правила установки электродов. Запишите результаты измерений. Проводите указанные измерения не реже двух раз в год. Измерение позволяет получить значение сопротивления всей установки.

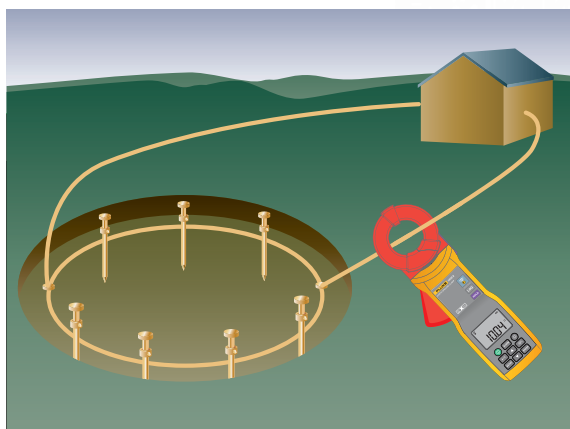
### Выборочное измерение

Наконец, измерьте сопротивление заземления отдельных элементов, используя метод выборочного измерения. Это позволит проверить целостность заземлителей отдельных элементов и их соединений и определить, равномерно ли распределяется потенциал заземления. Если в результате одного из измерений были получены значения, сильно отличающиеся от остальных, необходимо выяснить причину такого различия. Сопротивление следует измерить на:

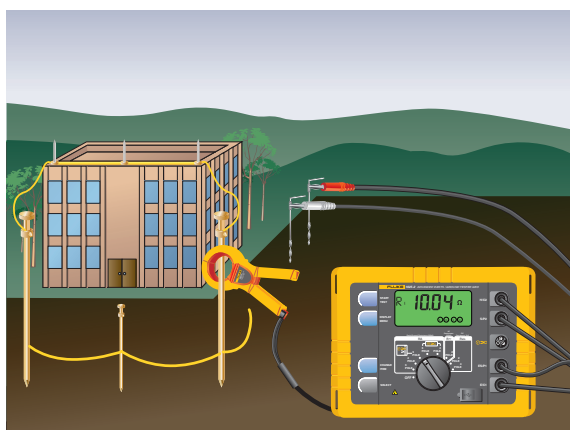
- каждой из стоек мачты и каждом из четырех углов здания (для мест размещения мачт и будок мобильной связи);
- отдельных заземляющих стержнях и их соединениях (электрические подстанции);
- обоих концах системы коммутационного оборудования (удаленное коммутирование);
- всех четырех углах здания (молниезащита).



Типичная конфигурация системы заземления электрической подстанции



Безэлектродное тестирование станции коммутационного оборудования



Выборочное измерение системы молниезащиты

# Изделия для измерения сопротивления заземления



Измеритель сопротивления заземления  
Fluke 1625-2 Advanced GEO



Измеритель сопротивления заземления  
Fluke 1623-2 Basic GEO



Клещи для проверки заземления  
Fluke 1630-2 FC

## Исчерпывающий ассортимент измерителей

Модели Fluke 1623-2 и 1625-2 представляют собой измерители сопротивления заземления, которые могут измерять сопротивление заземления всеми четырьмя методами.

### Расширенные функции измерителя Fluke 1625-2:

- автоматическая регулировка частоты (AFC) — определяет существующие помехи и подбирает частоту измерения для снижения их воздействия, обеспечивая точное измерение сопротивления заземления;
- режим R\* — предназначен для расчета импеданса заземления на частоте 55 Гц, чтобы более точно определить величину сопротивления при коротком замыкании на землю;
- регулировка пределов — ускоряет тестирование.

### Расширенные функции измерителя Fluke 1630-2 FC:

- безэлектродное тестирование с одними клещами;
- регистрация результатов — сохранение в памяти до 32 760 результатов измерений с предварительно заданной периодичностью;
- уставка сигнализации — настраиваемая функция сигнализации о выходе за установленные пределы обеспечивает быструю оценку измеряемых параметров;
- полосовой фильтр — настраиваемая функция полосового фильтра позволяет устранять помехи при измерении тока утечки в цепях переменного тока;
- измеритель 1630-2 FC является частью растущей совокупности взаимосвязанных измерительных приборов и ПО для технического обслуживания оборудования. Для получения подробной информации о системе Fluke Connect посетите веб-сайт [flukeconnect.com](http://flukeconnect.com).

### Дополнительные принадлежности

Трансформатор с разъемным сердечником, диаметр 320 мм (12,7 дюйма) — для выборочного тестирования отдельных выводов заземления опор ЛЭП.



Полный комплект измерителя 1625-2



Клещи Fluke 1630-2 FC со стандартным набором для измерения сопротивления контура и твердым футляром для переноски

## Сравнение измерителей сопротивления заземления

Продукт	Падение напряжения		Выборочное	Безэлектродное	Двухпроводный метод
	Трехпроводный метод	Четырехпроводный метод/грунт			
Fluke 1621					
Fluke 1623-2					
Fluke 1625-2					
Fluke 1630-2 FC					

**Fluke. Keeping your world up and running.®**

ООО «Флюк СИИЭС»  
125993, г. Москва, Ленинградский проспект  
д. 37 к. 9 подъезд 4, 1 этаж, БЦ «Аэростар»  
Тел: +7 (495) 664-75-12  
Факс: +7 (495) 664-75-12  
e-mail: info@fluke.ru

© Авторское право 2013, 2014, 2017 Fluke Corporation. Авторские права защищены. Данные могут быть изменены без уведомления. Самые надежные инструменты в мире 3/2017 4346628с-ru.

Не разрешается вносить изменения в данный документ без письменного согласия компании Fluke Corporation.