

Измерение электрического сопротивления линии и заземления

М.И. Изотов

20.01.2023

izotovmi.ru

izotovmi@mail.ru

Буду рад конструктивным
замечаниям

Аннотация

На простых бытовых примерах описывается влияние сопротивления подводящей линии и заземления на работу защитных устройств домашней электросети. Указывается доступный способ измерения указанных сопротивлений в частном доме с помощью амперметра, вольтметра и бытового потребителя. Определяются теоретические основы метода и его практическое применение. Описывается конструкция и последовательность изготовления простого самодельного прибора, и порядок измерения с его помощью.

Оглавление

Введение	2
Влияние сопротивления подводящей линии и заземления на работу защитных устройств домашней электросети	3
Влияние сопротивления линии.....	3
Влияние сопротивления заземления	8
Как измеряют сопротивление заземления с помощью специальных приборов. Теория, практика, критика.	11
Теоретические основы и способы «домашнего» измерения сопротивления подводящей линии (петля «фаза – ноль») и заземления («фаза – земля»).....	16
Простой измерительный прибор для «домашнего» измерения своими руками.....	22
Порядок измерения «домашним» прибором	25
Сопротивление линии	25
Сопротивление заземления.....	26
Заключение	28

Введение

Многим людям трудно себе представить, что у внешней электрической сети, к которой подключен их дом, есть такие параметры, которые могут существенно повлиять на работоспособность внутренней электросети, и что массивный лом, загнанный кувалдой в красивый белый песочек, может не быть заземлением, хотя он в ЗЕМЛЮ забит!

Предположим, в домашнем электроприборе произошло короткое замыкание (КЗ) между проводом под напряжением (фаза) и нулевым проводом, а автоматический отключатель («автомат») не срабатывает! А вы на него так надеялись. Почему не срабатывает – непонятно, ведь должен на КЗ реагировать.

Или есть явная утечка электричества на корпус, который заземлен, и корпус даже «бьёт током», а устройство защитного отключения (УЗО) не срабатывает. Почему?

Специалисты – монтажники газового оборудования отказываются устанавливать газовый котел, говоря, что по их измерениям сопротивление заземления очень большое. Почему? Лом (!) же забивали.

А проблема в том, что любые материалы (медь, алюминий, сталь, глина, песок и т.д.) и, особенно, переходы между ними (например, стальной лом – песок) имеют электрическое сопротивление. Соответственно, им обладают любые провода и устройство заземления тоже, причем это сопротивление иногда достаточно для того, чтобы помешать функционированию системы.

Влияние сопротивления подводящей линии и заземления на работу защитных устройств домашней электросети

Проблема устройства электроснабжения дома распадается на ряд взаимосвязанных, но, все-таки, отдельных проблем. В их числе проблема наличия электрического сопротивления у подводящей электрической линии, и проблема наличия сопротивления у заземления.

Указанные два параметра оказывают существенное влияние на работу защитных устройств внутренней сети дома – автомата отключения при коротком замыкании и перегрузке сети (в дальнейшем просто «автомат») и устройства защитного отключения при утечке электрического тока (в дальнейшем «УЗО») на корпус электроприбора или на человека.

Влияние сопротивления линии

Представим себе следующую ситуацию:

Во внутренней сети дачного дома между проводами возникло короткое замыкание, например, в результате повреждения изоляции провода. Короткое замыкание – это обычно контакт, возможно, сначала слабенький, искра, возникновение кратковременной дуги, затем возможное образование электрического мостика из обугленных остатков изоляции, пыли и т.п. Может просто образоваться мостик из, например, жучка-паучка. Кстати, образование проводящего мостика из обугленной мухи прекрасно описано Лемом в одном из рассказов о пилоте Пирксе.

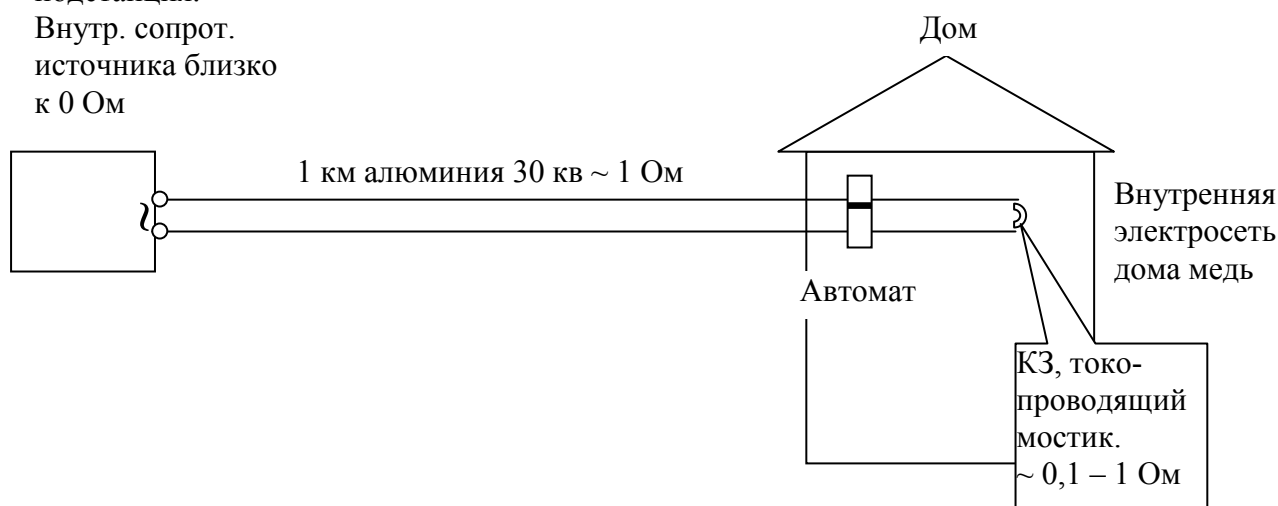
Предположим, трансформаторная подстанция дачного поселка находится в одном километре от дома, а линия электроснабжения дома выполнена по столбам алюминиевым

проводом сечением порядка 30 кв. мм. Сопротивление 1 километра такого провода примерно 1 Ом (числа реальны по порядку величин, округлены для простоты). Знатоки возмущенно воскликнут: да что это такое – 30 квадратов, у провода, который идет по столбам 75 – 100 квадратов, 30 не бывает. Ответу: в садовых товариществах и в частных домах еще и не то бывает.

Сопротивление медных проводов внутренней электрической сети дома (если там нормальная медь) пренебрежимо мало – сотые и десятые доли Ома.

Входной автомат на 25 ампер, класс С, который был установлен электриком садового товарищества, заменен рукастым хозяином на номинал 40 А класс С, поскольку 25 амперный отключался при включении зимой обогревателей в доме. Других автоматов в доме не предусмотрено.

Трансформаторная
подстанция.
Внутр. сопрот.
источника близко
к 0 Ом



Что произойдет при таких условиях в случае короткого замыкания в домашней проводке?

Казалось бы, в автомате должен сработать электромагнитный расцепитель (там два – электромагнитный и тепловой), и дом должен обесточиться.

Но так ли это? Считаем:

Во время собственно КЗ общее сопротивление цепи, иначе – петли «фаза – ноль» составит 2 Ома (1 км туда – 1 км обратно). Вне зависимости от того, как началось КЗ – просто соприкосновение проводов или возникновение кратковременной дуги, сопротивление в этом месте в это время близко к нулю.

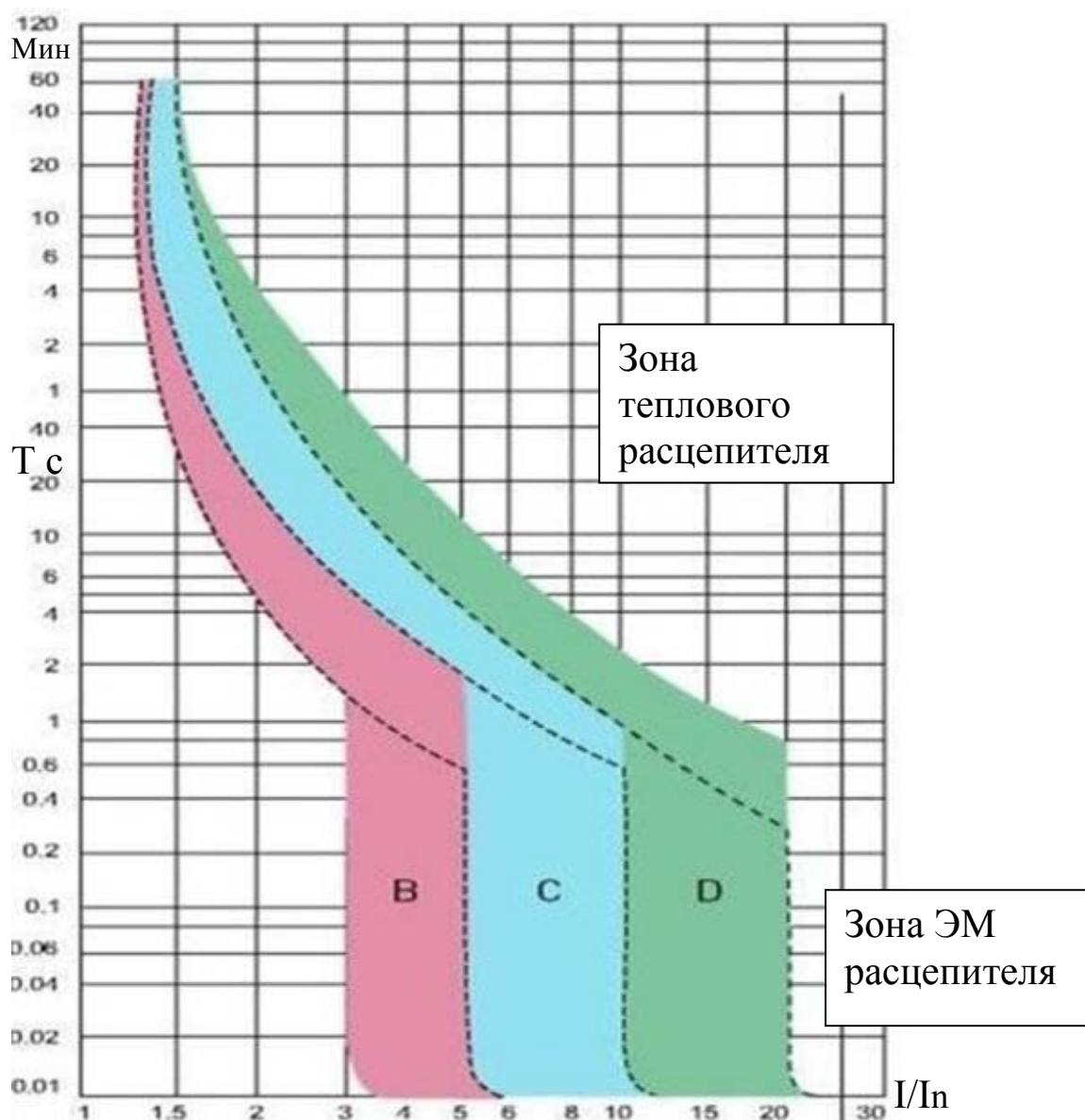
Стандартное напряжение линии 230 В.

Из закона Ома $I=U/R$ следует, что ток в это время равен 115 А ($230/2$).

Казалось бы, автомат должен отключиться, поскольку 115 А явно больше 40 А – почти в три раза.

Но это только «казалось бы» хозяину указанного дома. Мы, как люди грамотные, обратимся к ГОСТу Р 50345-2010 и так называемым Время-Токовым Характеристикам (ВТХ) автоматов. Для понимания общей картины нам будет достаточно обобщенных характеристик, представленных графически на рисунке, который я взял на просторах Интернета. Их бродит много разных, важно, чтобы они более-менее соответствовали основным положениям ГОСТа и давали нам возможность понять суть, а точные значения характеристик надо смотреть в паспортах конкретных моделей автоматов – у них могут быть свои нюансы при сохранении общего вида характеристик.

На рисунке представлены характеристики по трем классам автоматов: В, С, D, которые считаются бытовыми. Из них наиболее употребим класс С. Левые границы цветных диаграмм – это срабатывание так называемого «горячего» автомата, то есть, автомата по которому шел номинальный ток, правая – «холодного» автомата, то есть через который тока не было.



К числу главных характеристик автоматов относится диапазон кратности превышения номинального тока, при котором произойдет так называемое «мгновенное» (порядка 0,1 – 0,01 сек) расцепление срабатыванием электромагнитного расцепителя. Для класса С срабатывание ЭМ расцепителя за это время произойдет при превышении номинального тока в 5 – 10 раз. Если больше, то еще быстрее. А вот если меньше ... Тогда это уже область работы теплового расцепителя, он весьма инерционен.

Вернемся к нашему примеру: 115 А при номинале автомата 40 А. Отношение $115/40=2,875$, то есть, ЭМ

расцепитель НЕ срабатывает. Уже стала понятна роль сопротивления подводящей линии.

Надежда на тепловой. При таком соотношении «тепловик» на С40 срабатывает примерно через 4 – 5 секунд. Казалось бы, и ладно, за это время провода гореть не начнут. В большинстве случаев так и бывает.

Но есть одно «Но»: за это время в месте контакта может образоваться комок обгорелой изоляции типа угля, который заместит выгоревшую медь и станет электрическим мостиком с некоторым небольшим сопротивлением. Это сопротивление снизит проходящий ток, но он все равно останется выше допустимого для провода и существенно повысит время срабатывания теплового расцепителя. Речь пойдет уже не о секундах. Пока он срабатывает, что-нибудь и загореться может.

А как же УЗО, спросит дотошный читатель? Оно же на 30 – 40 миллиампер обычно рассчитано, а тут вон какие амперы. А ни при чем оно, ответим мы. Во-первых, хозяином дома оно не предусмотрено. Во-вторых, даже если бы оно и было – УЗО (а так же АДО – автомат дифференциального отключения) работает по разности токов в фазном и нулевом проводе. А в приведенном случае этой разницы нет. УЗО короткого замыкания между фазой и нулем просто не видит.

Есть ли выход из ситуации?

Есть. Надо распределить домашние потребители по нескольким автоматам небольшого номинала: 16 – 10 А. Можно взять автоматы класса В, но это в зависимости от условий эксплуатации – какие у вас потребители. Проект нужен, считать нужно.

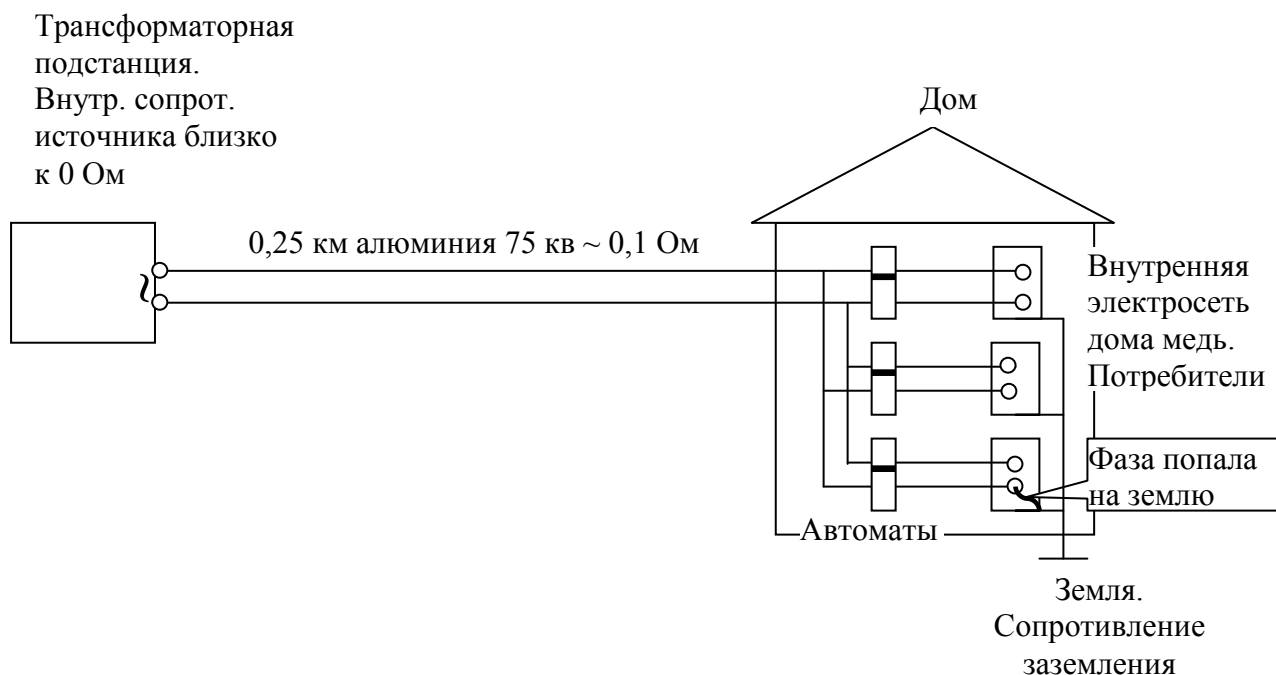
Влияние сопротивления заземления

Аналогично на срабатывание защитных устройств влияет сопротивление заземления, причем в еще большей степени, поскольку оно, обычно, больше.

Возьмем предыдущий пример, только автомат пусть будет 16 А класс С (С16), поскольку хозяин уже понял, что шутки с автоматом большого номинала чреваты, решил не экономить на этом, распределил нагрузку на три автомата.

Подстанцию расположим ближе – 0,25 км. Провод проведем 75 кв. мм. Сопротивление у такой линии будет 0,1 Ома, то есть, никакого влияния практически не оказывает.

Есть заземление, которое выполнено путем забития могучего лома на всю длину (1,5 м) в садовую землю.



Предположим, фазный провод попал на заземленный корпус. Образовалась электрическая цепь: источник – линия – автомат – потребитель – корпус потребителя – заземление. Казалось бы, должен сработать автомат, он ведь на 16 ампер. Считаем:

По всей цепи за исключением заземления сопротивление

мало, порядка 0,1 – 0,2 Ома, можно не учитывать.

Сопротивление заземления из забитого хозяином в садовую землю лома длиной 1,5 м, диаметром порядка 30 мм, можно найти, воспользовавшись сетевым калькулятором, например, <https://c-mz.ru/raschet-zazemleniya-onlajn-kalkulyator?ysclid=lcmw5ciqb3466526910> Правда, его создатели почему-то находятся в парадигме стандарта 220 В, хотя он давно уже 230 В.

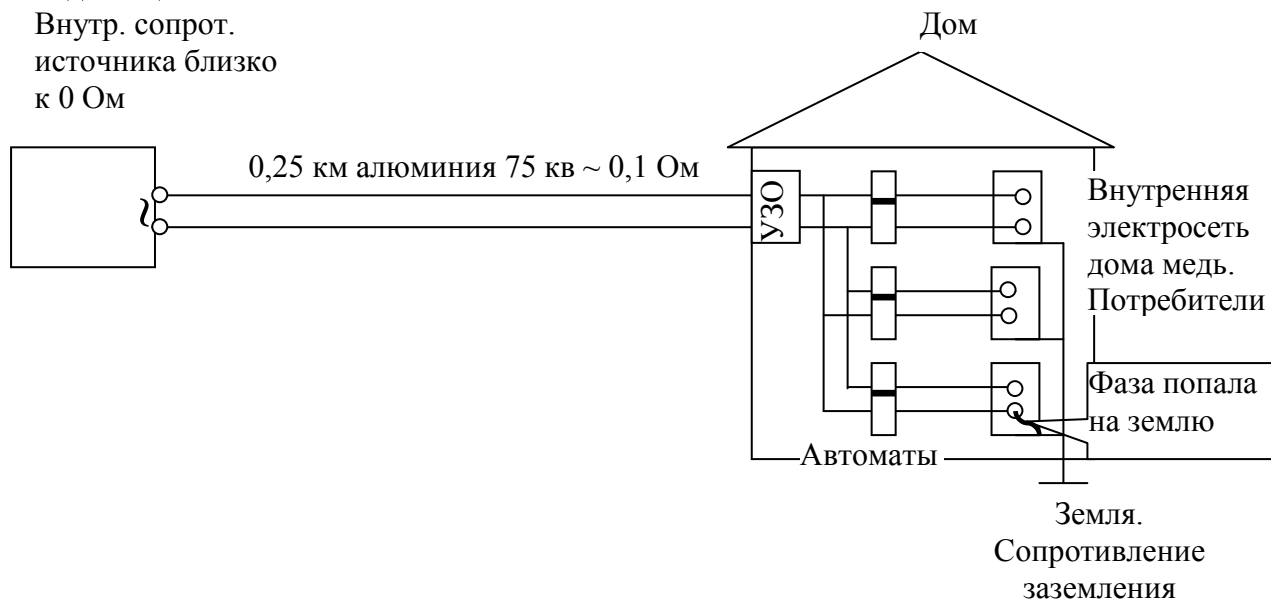
Расчет дает величину порядка 22 – 23 Ом.

Делим 230 В на 23 Ома, получаем 10 А.

То есть, автомат С16 при таком заземлении НЕ сработает! Беда. Что же делать? Вариантов три:

1. Сделать нормальное заземление с сопротивлением не более 10 Ом.
2. Поставить УЗО.
3. Сделать и то и другое, и это самое правильное.

Трансформаторная
подстанция.
Внутр. сопротив.
источника близко
к 0 Ом



В третьем варианте у вас автомат сработает, пусть через минуту, даже если что-то случится с УЗО, или УЗО сработает, даже если что-то случится с автоматом. Кроме

того, монтажники газового оборудования требуют, чтобы сопротивление заземления было не выше 10 Ом, и в целом-то, они правы, как мы видим.

Куда, сколько и какие ставить УЗО – это предмет проектирования конкретной сети. Приведенные выше примеры ни в коем случае нельзя рассматривать как рекомендованные схемы. Это только примеры для лучшего понимания темы.

Существует ситуация, близкая к разобранный, но хуже. Это когда вы в буквальном смысле стоите на песке и забиваете свой лом в качестве заземления в чистый сухой песочек. Если в предыдущем случае у вас хотя бы УЗО сработает, если вы его, конечно, поставите, то в этом...

Считаем. В калькуляторе в качестве грунта выставим сухой песок, глубину слоя 2,5 – 3 метра.

Получаем среднее сопротивление заземления порядка 8 Ком (8 килоом, 8000 Ом)! То есть, в этом случае у вас распространенные типы УЗО на 40 и даже 30 мА не сработают, поскольку $230/8000=0,028$ или 28 мА.

В этом случае без устройства грамотного заземления не обойтись. Конечно, это крайний случай, в жизни такая ситуация мало вероятна, но она очень показательна.

Из сказанного следует, что при обустройстве электрической сети дома, нужно иметь возможность провести замеры сопротивления подводящей линии и заземления.

Но как измерить? Об этом читаем дальше.

Примечание: Внимательные люди тут же скажут: а как провести замер заземления, если его еще нет?

Можно рассчитать, потом проверить. Можно сделать одноштыревую натурную модель и замерить её, затем экстраполировать полученные результаты на проект.

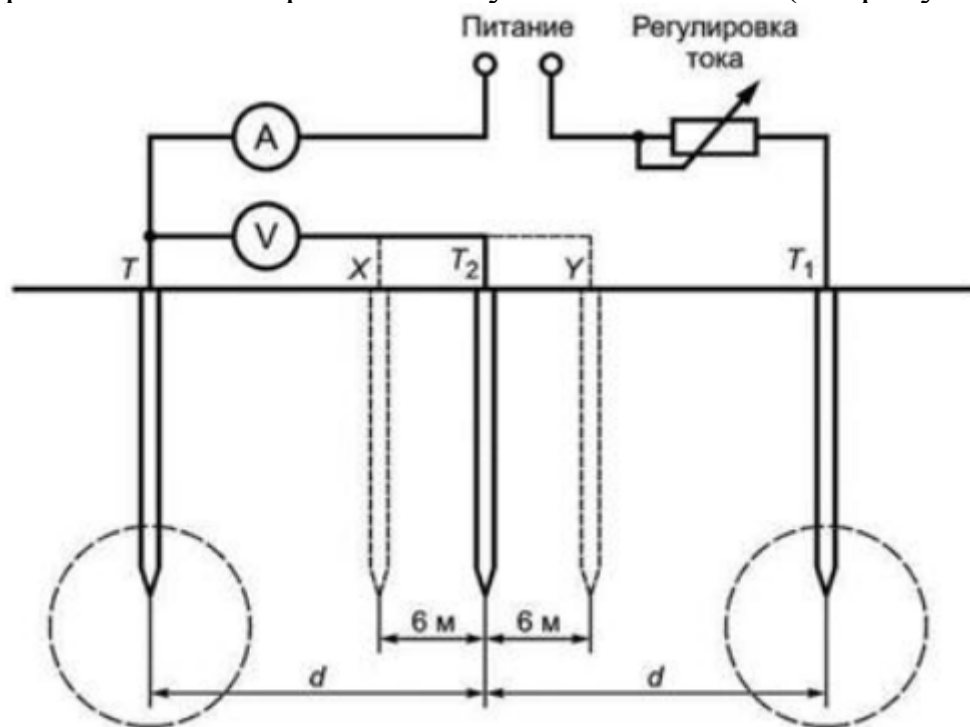
Как измеряют сопротивление заземления с помощью специальных приборов. Теория, практика, критика.

Существуют специальные приборы для измерения сопротивления заземления.

Приложение С из ГОСТ Р 50571.16 2007 года (в 2019 изложено хуже) с рекомендуемой методикой измерения сопротивления заземлителя:

Измерение с помощью стержневых электродов.

Пример проведения измерения сопротивления заземлителя. В качестве примера может быть принята следующая методика (см. рисунок С.1).



Зоны растекания (не перекрывающиеся)

Т - заземлитель, подлежащий испытанию, отключенный от всех источников питания; Т₁ - вспомогательный заземляющий электрод; Т₂ - второй вспомогательный заземляющий электрод;

Х - измененное положение Т₂ для проверочного измерения; У - другое измененное положение Т₂ для проверочного измерения

Рисунок С.1 - Измерение сопротивления электрода заземления

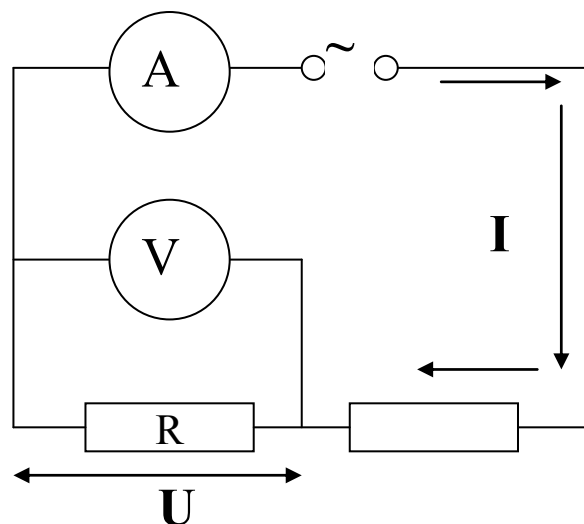
Переменный ток неизменного значения пропускают между заземлителем Т и вспомогательным электродом заземления Т₁, расположенным на таком расстоянии, чтобы зоны растекания двух заземлителей не

перекрывались. Второй вспомогательный электрод заземления T_2 , в качестве которого может использоваться металлический стержень, погруженный в землю, помещают между электродами T_1 и T_2 . Затем измеряют падение напряжения между T и T_2 . Сопротивление заземлителя равно напряжению между электродами T и T_2 , деленному на ток, протекающий между T и T_1 , при условии, что нет перекрытия зон растекания.

Для того, чтобы проверить правильность определения сопротивления заземлителя, проводят два дополнительных измерения, при которых второй вспомогательный электрод T_2 переносят соответственно на 6 м дальше и на 6 м ближе к T . Если три результата существенно не отличаются, то их среднее значение принимают за значение сопротивления заземления T . Если имеется существенное различие, то испытания повторяют при увеличенном расстоянии между электродами T и T_1 . В случае проведения испытаний на переменном токе промышленной частоты внутреннее сопротивление используемого вольтметра должно быть не менее 200 Ом/В. Источник тока, используемый для испытания, должен быть отделен от питающей электросети (например, путем использования разделительного трансформатора)

С одного сайта на другой кочует эта трехточечная схема измерения с амперметром и вольтметром, которая списана с указанного Приложения С, иногда с вариациями, и которая, с моей точки зрения, грешит принципиальной неточностью. Авторы замалчивают вопросы, честный ответ на которые поставит под сомнение официальную методику.

Попытаемся разобраться в этом методе. Для начала нарисую эквивалентную схему измерения и поймем, что она очень похожа на простую лабораторную работу по физике с использованием реостата. Реостат в данном случае – это земля, грунт. Мы видим схему делителя напряжения, которая использована для измерения сопротивления одного из его плеч:

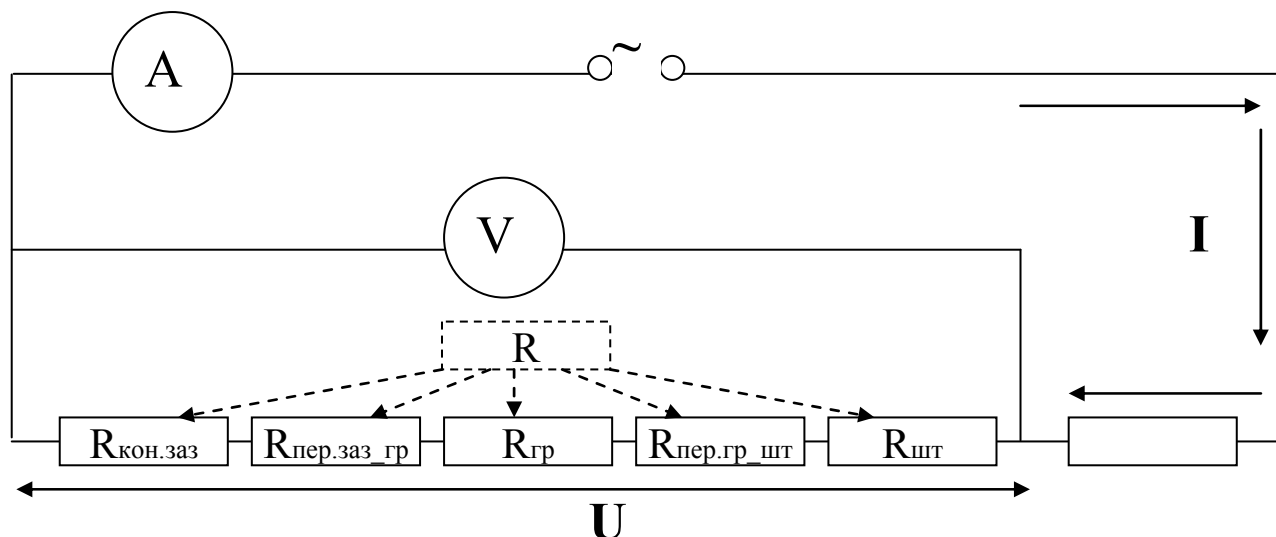


$R=U/I$. R считается сопротивлением заземления.

Но так ли это? И при каких условиях это будет так?

Для начала разберем, из чего складывается вышеуказанное R .

Это: сопротивление конструкции заземлителя + сопротивление перехода «заземлитель – грунт» + сопротивление грунта + сопротивление перехода «грунт – измерительный штырь» + сопротивление измерительного штыря.



$$R=R_{\text{кон.заз}}+R_{\text{пер.заз_гр}}+R_{\text{гр}}+R_{\text{пер.гр_шт}}+R_{\text{шт}}$$

Вот, что, оказывается, мы измерили этим методом.

А где среди этих величин искомое сопротивление заземлительного устройства?

Это первые три величины в сумме: сопротивление конструкции заземлителя + сопротивление перехода «заземлитель – грунт» + сопротивление грунта.

$$R=R_{\text{кон.заз}}+R_{\text{пер.заз_гр}}+R_{\text{гр}}$$

Но сопротивление грунта ($R_{\text{гр}}$) зависит от расстояния между заземлителем и измерительным штырем. Воткнем в 10 метрах от заземлителя – получим один результат, воткнем в 100 метрах – получим другой.

Где втыкать???

Существуют определенные правила расположения измерительных стержней. Но они не учитывают разницы в условиях измерений и могут дать существенную погрешность.

По правилам (и они согласуются с теорией) втыкать измерительный электрод (штырь, стержень) надо на границе зоны растекания тока. Это правильно, ибо сопротивление указанной дистанции нам и нужно – оно вкупе с сопротивлением заземлителя и его контакта с грунтом по определению является сопротивлением заземления. Но где эта граница? Мы её не знаем. Она зависит от свойств грунта, а они каждый раз разные.

Существует теоретическая возможность определить функцию растекания с помощью замера потенциала относительно заведомо нулевой точки, и вычислить условную границу растекания. Только как создать нужные условия нахождения этой функции? Где взять эту точку и как гарантировать её «нулёвость»? И кто это будет делать? Вы когда-нибудь видели, чтобы техники, пришедшие замерить сопротивление заземления, искали границу зоны растекания?

Это первый принципиально непреодолимый дефект метода. Поэтому в действующих инструкциях к конкретным

приборам указываются конкретные расстояния порядка 20 – 40 метров. В разных инструкциях могут быть разные расстояния, которые, к тому же, зависят от конструкции заземлителя.

Немного спасает то, что функция растекания нелинейна, к нулю потенциала она сильно пологая, теоретически она приближается к нему асимптотически.

Второй дефект метода – это влияние сопротивления измерительного стержня и его контакта с грунтом. Его компенсация возможна частично.

Эти погрешности остаются непреодолимыми при любых подобных схемах измерений. Изменение расположения штырей будет влечь за собой изменение результата, что свидетельствует о несовершенстве методики.

В любом случае, официальные методики и приборы пытаются измерить с той или иной погрешностью сопротивление именно местного заземления. Но ведь при аварии, при замыкании фазы на корпус в реальной цепи участвуют и линия электропередачи, и заземление на подстанции, и повторные заземлители сети.

Все это в целом, сопротивление всей образующейся цепи, то есть, петли «фаза – земля» измеряет как раз метод, предлагаемый в следующей главе вслед за методом измерения сопротивления петли «фаза – ноль».

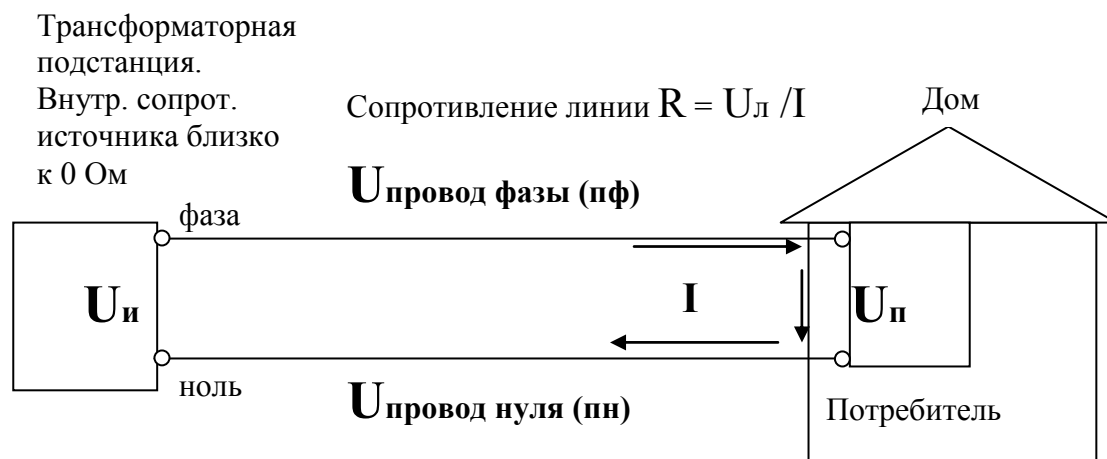
Интересно, что измерение сопротивления петли «фаза-земля» вошло в ГОСТ 50571.16 2019 года наряду с измерением сопротивления заземлителя. Ранее его не было.

Теоретические основы и способы «домашнего» измерения сопротивления подводящей линии (петля «фаза – ноль») и заземления («фаза – земля»)

Проблема состоит в том, что просто так – тестером, сопротивление линии не измеришь – там источник, да и малое сопротивление простым тестером не измеряется. Поэтому нужен способ.

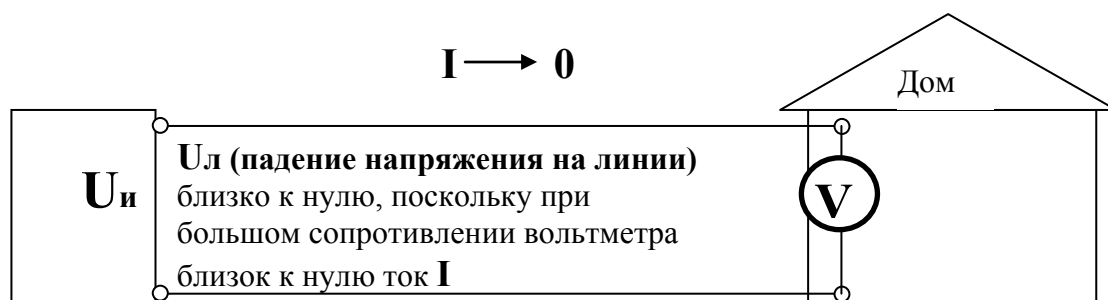
Будем отталкиваться от определения понятия электрического сопротивления и классических законов электротехники.

Сопротивление проводника R – это отношение падения напряжения на проводнике к току, проходящему через проводник. Следовательно, нужна цепь, в которой каким-то образом можно замерить падение напряжения на подводящей линии и ток в цепи. U_L – это падение напряжения на подводящих проводах линии – фазы и нуля.



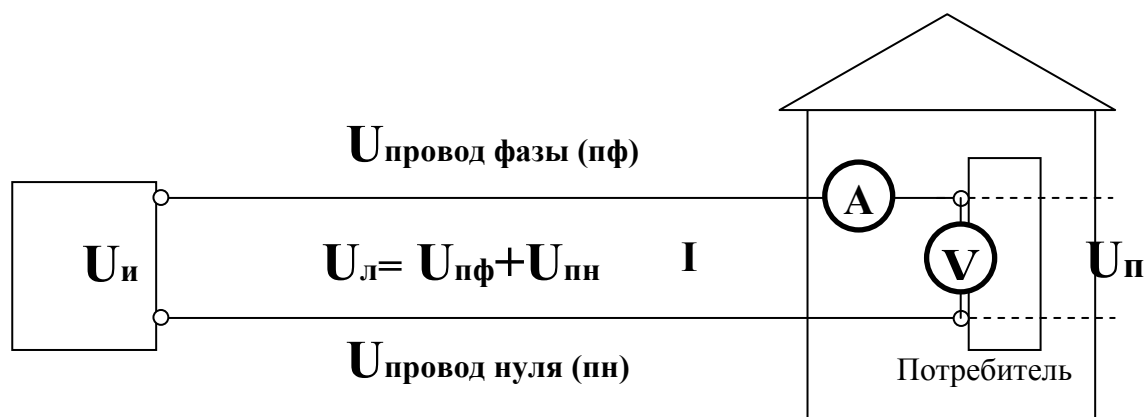
Электротехнический закон: $U_L = U_{\text{пф}} + U_{\text{пн}}$; $U_{\text{и}} = U_L + U_{\text{п}}$

Сразу понятно, что непосредственно замерить падение напряжения на линии U_L нельзя. Зато можно замерить вольтметром напряжение на линии без потребителя.



Поскольку сопротивления вольтметра очень высоко (в идеале – бесконечность), то ток в цепи ничтожен, значит ничтожно падения напряжения $U_{\text{л}}$. Тогда замеренное на линии без потребителя напряжение (просто в розетке при отключенных потребителях) можно считать напряжением источника $U_{\text{и}}$.

Затем можно замерить падение напряжения на потребителе, подключенном к линии, и ток, проходящий в цепи.



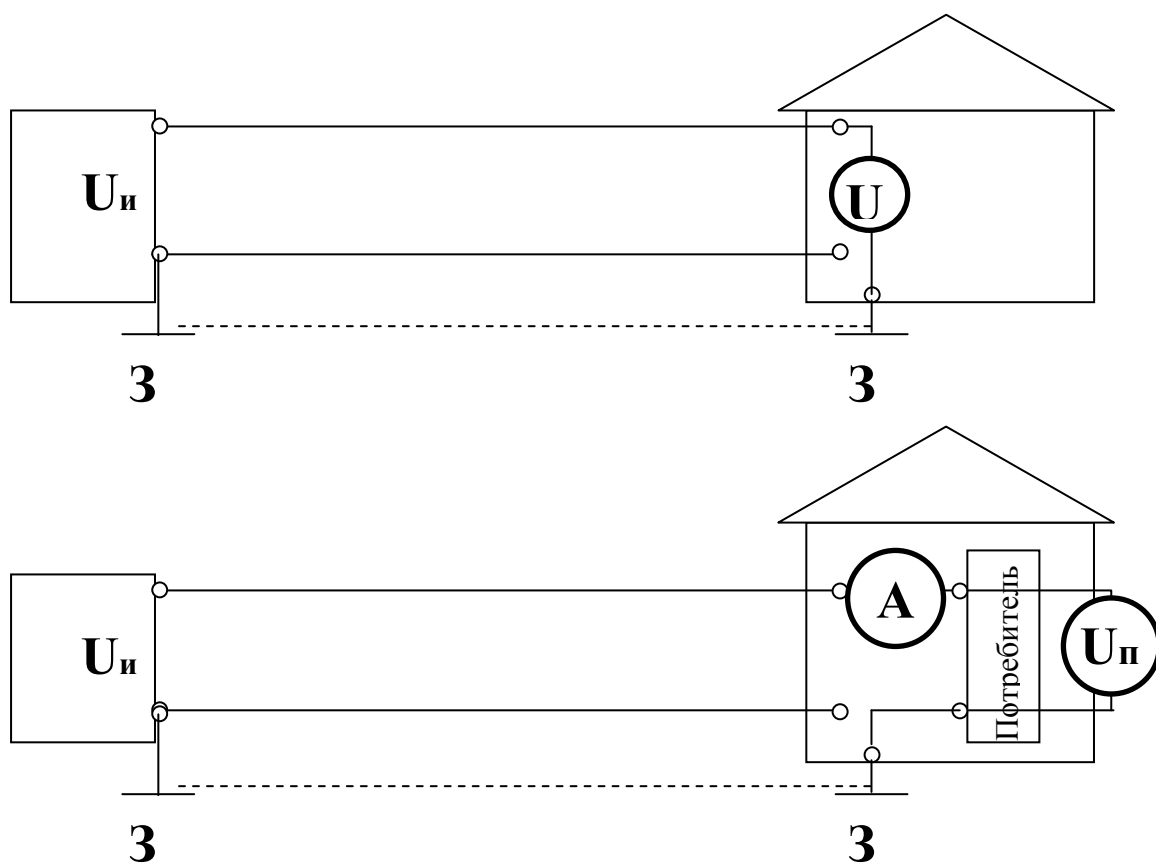
Далее, совершенно понятно: из первого уравнения вычисляем $U_{\text{л}} = U_{\text{и}} - U_{\text{п}}$. Делим на ток, получаем сопротивление линии $R_{\text{л}} = U_{\text{л}} / I$.

Указанный метод полностью соответствует методу, рекомендованному в Приложении D ГОСТ Р 50571.16-99, то есть 1999 года, оно же есть в этом ГОСТе 2007 года, но почему-то убрано из ГОСТа 2019 года.

Следует отметить, что при наличии на линии других мощных потребителей (а в садовом товариществе или в

коттеджном поселке всегда есть другие дома) результаты могут не совсем точно отражать сопротивление проводов линии. Но это и не очень важно. Расценивайте линию как черный ящик, сопротивление которого (не проводов, а в целом) вы измеряете. Только надо будет провести несколько измерений в разное время суток и выбрать наибольшее и наименьшее для последующего проектирования или оценки системы электробезопасности.

Принцип измерения сопротивления заземления совершенно аналогичен изложенному принципу измерения «фаза – ноль». Только вместо нулевого провода используется Земля.



$$R_{\text{измеренное}} = (U - U_n) / I$$

Чтобы узнать сопротивление только заземления, надо из этого результата вычесть сопротивление подводящего провода фазы, поскольку в $R_{\text{измеренное}}$ входит и

сопротивление этого провода. То есть, надо будет дополнительно измерить сопротивление линии («фаза – ноль»), если это возможно и поделить его пополам, поскольку при измерении сопротивления линии, мы измеряем совокупное сопротивление двух проводов: фазного и нулевого.

$$R_3 = R_{\text{измер}} - R_{\text{л}} / 2 .$$

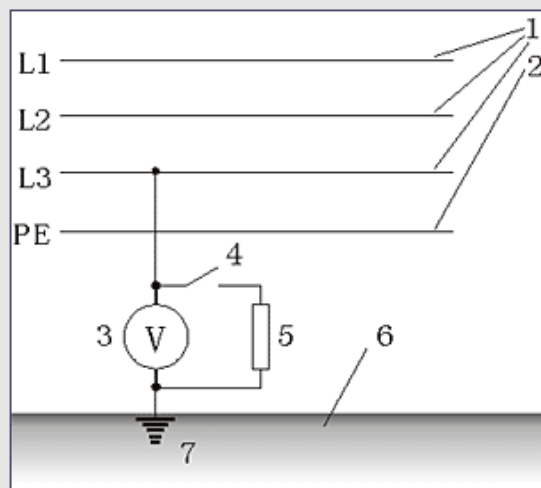
Или просто рассчитать его по известной длине линии и толщине подводящих проводов.

Следует отметить, что при измерении сопротивления заземления указанным образом, на поверхности земли может возникнуть небольшое шаговое напряжение. Поэтому на всякий случай в это время босиком по дачному участку лучше не расхаживать и домашних животных тоже об этом строго предупредить, чтобы они по участку не бегали.

Указанный метод аналогичен методу, опубликованному Сергеем Кострубой в журнале Новости электротехники. Но в его методе предлагается использовать калиброванное сопротивление с водяным охлаждением.

В отличие от него, в описанном выше методе не нужно калиброванное сопротивление большой мощности с водяным охлаждением, а достаточно бытового прибора, например, электрочайника или электрообогревателя.

Из журнала Новости электротехники
<http://news.elteh.ru/arh/2002/17/26.php> :



Принципиальная схема измерения сопротивления заземляющего устройства с использованием калиброванного резистора с водяным охлаждением

На нем цифрой 1 показаны фазные провода L1, L2 и L3, цифрой 2 – защитный провод PE, 3 – вольтметр, 4 – выключатель, 5 – калиброванный резистор с водяным охлаждением, 6 – земля, 7 – заземлитель заземляющего устройства. Ток, проходящий через заземляющее устройство, определяют по сопротивлению калиброванного резистора и напряжению на нем как частное от деления напряжения на сопротивление. Напряжение на заземляющем устройстве определяют по фазному напряжению электрической сети и напряжению на калиброванном резисторе как разность между фазным напряжением и напряжением на калиброванном резисторе, а искомое сопротивление заземляющего устройства определяют по следующей формуле:

$$R_{з\gamma} = R_{кр}(U_{\phi} - U_{кр})/U_{кр}$$

где $R_{кр}$ – сопротивление калиброванного резистора; U_{ϕ} – фазное напряжение электрической сети; $U_{кр}$ – напряжение на калиброванном резисторе.

Необходимость в водяном охлаждении резистора 5 продиктована тем, что его мощность составляет сотни ватт и если не применять водяное охлаждение, то он просто сгорит.

Очень похожая схема есть в ГОСТе 50571.16-2019, где впервые говорится об измерении не просто сопротивления заземлителя, а именно об измерении пели «фаза – земля». Судя по всему, измерение тоже основано на использовании прибора с калиброванным сопротивлением:

С.2 Метод С2. Измерение активного сопротивления заземлителя с применением прибора измерения полного сопротивления петли замыкания на землю

Измерение полного сопротивления петли замыкания на землю на вводе в электроустановку может быть выполнено с применением измерительного прибора, соответствующего МЭК 61557-3.

Испытание должно выполняться на находящейся под напряжением стороне главного выключателя при отключенном питании электроустановки и при временно отсоединенном от главной заземляющей шины (ГЗШ) заземляющем проводнике.

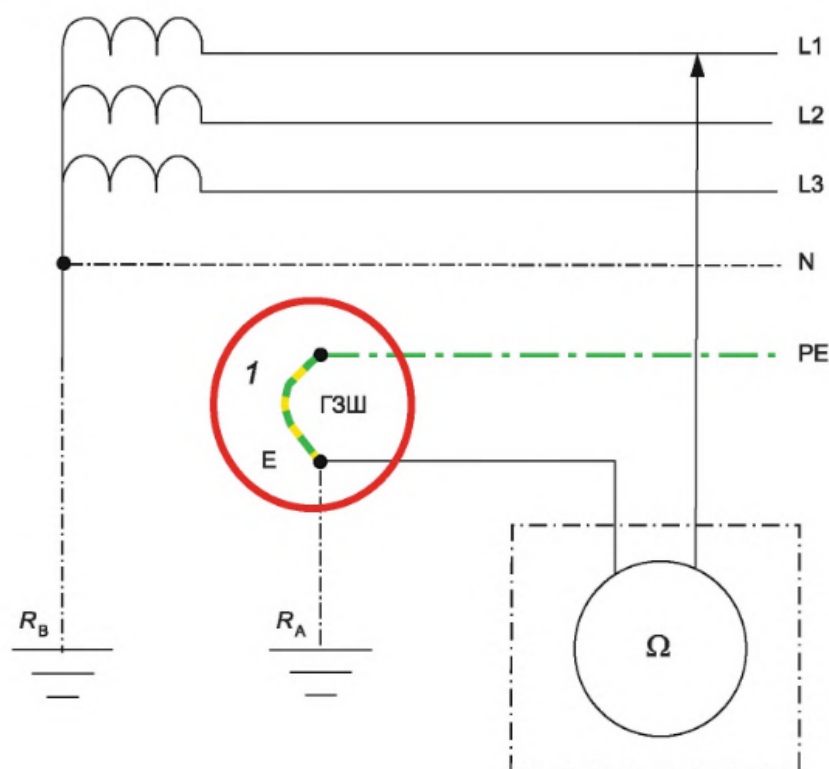
Измерительный прибор должен быть настроен на диапазон уставок, соответствующий полному сопротивлению петли замыкания на землю, который можно ожидать для данной системы заземляющего устройства (как правило, от 0 до 20 Ом).

Измерительный прибор должен быть подключен так, как показано на рисунке С.2. При наличии каких-либо сомнений прибор должен быть подключен в соответствии с указаниями изготовителя.

Полное сопротивление частей, не являющихся заземляющим электродом, составляет незначительную часть измеренного полного сопротивления петли замыкания на землю, поэтому результат, полученный при этом испытании, может быть принят в качестве обоснованного значения активного сопротивления заземляющего электрода.

Результат испытания не должен превышать значение $50 \text{ В}/I_{\Delta n}$ (см. МЭК 60364-4-41:2005, раздел 411).

Важно, чтобы присоединение заземляющего проводника к ГЗШ было восстановлено до восстановления подачи питания на электроустановку.



1 — заземляющий проводник, временно отключенный от главной заземляющей шины (ГЗШ)

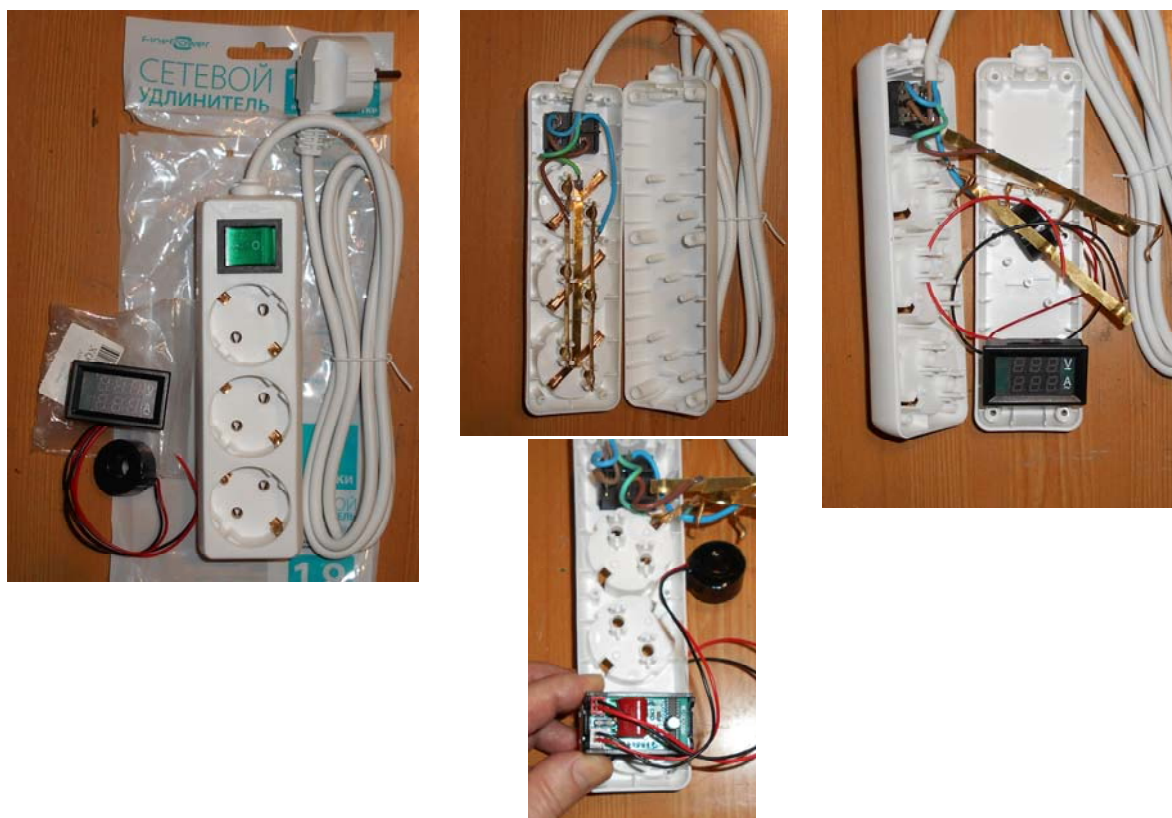
Рисунок С.2 — Измерение активного сопротивления заземлителя с применением прибора измерения полного сопротивления петли замыкания на землю

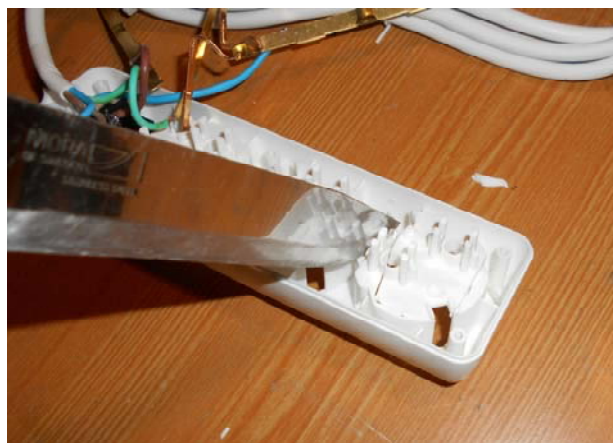
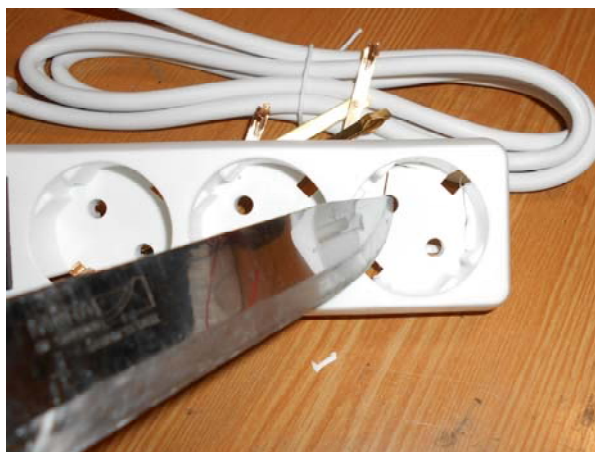
Простой измерительный прибор для «домашнего» измерения своими руками

Метод легко реализуется с помощью отдельных вольтметра и амперметра или двух тестеров.

Для удобства измерений можно сделать простой прибор на основе обычного удлинителя и комбинированного вольтметра-амперметра для сетевого напряжения и пределом измерения тока 20 – 100 А ценой деления 0,1 А купленного, например, на Али Экспрессе или в ином магазине: https://aliexpress.ru/item/1005003750784826.html?spm=a2g2w.orderdetail.0.0.30324aa6veYLoK&sku_id=12000027037520912

Вольтметр-амперметр врезается в крайнюю розетку удлинителя и подключается так, чтобы измерять напряжение на первой розетке и ток, проходящий через неё при подключении потребителя. Измерительная индуктивность располагается во второй розетке и закрепляется скотчем.





Полученный измеритель необходимо оттарировать, то есть, определить погрешность измерения, тем более, что вольтметр-амперметр – дешевый китайский. Это надо сделать для двух точек: без нагрузки и с включенной нагрузкой. Определение можно провести по тестеру, о котором известно, что он достаточно точен.



Поправку надо вычислять как среднее из нескольких измерений. У меня и без нагрузки и под нагрузкой получились одинаковые значения поправки 5 вольт. Поскольку при вычислениях сопротивления значения под нагрузкой будут вычитаться из значений без нагрузки, то можно поправку не учитывать – она все равно взаимно уничтожится.



Для получения поправки по току надо подключить тестер как амперметр последовательно с нагрузкой, это чуть сложнее, но все равно просто. Поправка по току оказалась пренебрежимо мала.

Поскольку для изменения сопротивления линии удобно просто включать прибор в сетевую розетку, то удалять с него вилку, чтобы сделать подключение для измерения сопротивления заземления, нецелесообразно. Лучше сделать переходник с двумя проводами, на конце одного из которых располагается клеммник для подключения «земляного» провода, а второй просто обпаян для подключения к клемме входного автомата. Такое устройство можно сделать на основе переходника вилки.



Порядок измерения «домашним» прибором

Прибор должен быть предварительно оттарирован, то есть должны быть определены поправки его показаний (см. выше).

Сопротивление линии

1. Проверить отсутствие подключенных потребителей в доме
2. Подключить прибор без нагрузки к розетке. Включить выключатель на приборе.
3. Подождать несколько секунд для стабилизации работы вольтметра-амперметра. Записать несколько последовательных показаний вольтметра. Можно сфотографировать. Показания амперметра при правильно собранном приборе должны быть 0.

4. Подключить нагрузку полтора – два киловатта (чайник, обогреватель) к розетке прибора. Включить выключатель нагрузки, если он есть.
5. Подождать несколько секунд для стабилизации нагрузки. Записать несколько последовательных показаний вольтметра и амперметра. Можно сфотографировать.
6. Вычислить разность измерения напряжений без нагрузки и с нагрузкой с учетом поправок.
7. Разделить эту разность на значение тока (с учетом поправок).

Полученная величина и есть искомое сопротивление:

$$R_{\text{линии}} = (U_{\text{без нагрузки}} - U_{\text{с нагрузкой}}) / I_{\text{с нагрузкой}}$$

Сопротивление заземления

Измерение полного сопротивления «фаза – земля» происходит

1. при отключенном проводе заземления, идущем от заземлителя к распределительной колодке «земли»;
2. при подключении прибора **до** УЗО, например, к входному автомату.

Измерение аналогично предыдущему с учетом указанных особенностей.

1. Выключить распределительные автоматы, отключающие ветви нагрузки. Отключить основной входной автомат.
2. Отключить от распределительной «земляной» колодки провод, идущей от заземлителя – провод «земли».
3. Надеть на вилку прибора переходник для подключения к «земляному» проводу и к фазе.

4. Подключить один из проводов переходника к отключенному от колодки основному «земляному» проводу.
5. Отключить выходной провод от основного входного автомата.
6. Подключить вместо этого провода второй провод переходника. Можно не «вместо», а «вместе». Зависит от конкретных условий.
7. Включить выключатель прибора.
8. Включить входной автомат, подождать несколько секунд для стабилизации работы вольтметра.
9. Записать несколько последовательных показаний или сфотографировать.
10. Подключить к розетке прибора потребитель полтора – два киловатта (чайник, обогреватель). Включить выключатель на потребителе. Дождаться стабилизации работы.
11. Записать или сфотографировать показания вольтметра и амперметра.
12. Вычислить разность измеренных напряжений без нагрузки и с нагрузкой с учетом поправок прибора.
13. Разделить эту разность на значение тока (с учетом поправок).

Полученная величина и есть искомое полное сопротивление «фаза – земля»:

$$R_{\text{фаза-земля}} = (U_{\text{без нагрузки}} - U_{\text{с нагрузкой}}) / I_{\text{с нагрузкой}}$$

Если есть данные о сопротивлении фазного провода, идущего от подстанции к дому, то вычтя их из полученного значения, получим сопротивление заземлителя.

Заключение

Изложенные методы измерения основаны на законах электротехники и согласуются с методами ГОСТа. Они дают достаточно точные значения сопротивления подводящих проводов (петля «фаза-ноль») и полного значения сопротивления заземления «фаза-земля».

Однако, если вам надо подавать официальную бумагу в организацию, то придется вызвать сотрудников аттестованной компании.