

МР 09110.20.360-01

**Белорусский государственный энергетический
концерн
Управление электрических сетей**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по рациональному выполнению
заземляющих устройств
и пособие по их измерениям
в сетях 0,38-10 кВ**

Белорусский государственный энергетический концерн

Гончарик Е.П., Киселев В.В.

**Назначение заземлений и их
выполнение в сетях 0,38-10 кВ**

Минск, 2001 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение.....	3
1. Типы систем заземления в сетях 0,38 кВ.....	4
2. Основные термины и понятия, применяемые в устройствах заземления.....	11
3. Назначение заземлений в сетях 0,38-10 кВ.....	30
4. Особенности выполнения заземлителей в сетях 0,38-10 кВ..	43
4.1. Выбор сечения заземлителя.....	43
4.2. Выбор конфигурации заземлителя и расстояния между вертикальными электродами в заземлителе.....	45
5. Практические рекомендации	59
Список использованных источников.....	63
Пособие по измерениям сопротивления заземляющих устройств в сетях 0,38-10 кВ	68

Введение

Нерациональное использование стали при традиционном выполнении заземлений, стремление увеличить число точек заземления в сети, часто необоснованные требования снизить относительно нормируемых величин сопротивление заземлителей в сетях 0,38-10 кВ, как правило, ведет к излишним затратам стали не увеличивая при этом ни электробезопасности ни защищенности электрооборудования от грозовых и внутренних перенапряжений. Причем увеличение расхода в пределах Республики Беларусь весьма существенное. К настоящему времени в стране изношены и подлежат замене порядка 35 тыс. км воздушных линий напряжением 0,38-10 кВ, при восстановлении которых примерно 350 тыс. опор подлежат заземлению. Если, например, у этих опор будет забито по одному лишнему вертикальному электроду длиной 5 м, то неоправданный перерасход стали составит 1500 тонн. А если при этом вместо прутка диаметром 12 мм использовать прутки диаметром 16 мм перерасход возрастет до 2700 тонн. Это только на линиях электропередачи, не учитывая трансформаторные подстанции, промышленные, сельскохозяйственные, частные и прочие потребители электроэнергии.

Обычно на каждой строящейся электроустановке (объекте) наблюдается перерасход стали из-за необоснованного увеличения сечения заземлителей и заземляющих проводников, неправильного расположения элементов заземлителя относительно друг друга, неосознанного выбора конфигурации заземлителя. Это происходит из-за непонимания принципов работы заземлителей и выполняемых ими функций.

Многолетний опыт подтверждает, что правильное представление физических процессов, происходящих при стекании токов с заземлителей, во многом определяет правильность их выбора, расположения и выполнения при монтаже электроустановок, и при меньшем расходе металла улучшает условия защиты от поражения электрическим током и облегчает работу изоляции электрооборудования.

1. Типы систем заземления в сетях 0,38 кВ

С учетом современной концепции электробезопасности электроустановок зданий при напряжении до 1 кВ с 1 июня 1999г введен в действие комплекс ГОСТ 30331.1-95+ГОСТ 30331.9-95, который содержит полный аутентичный текст международного стандарта МЭК 364 «Электрические установки зданий». Требования данного стандарта должны учитываться при разработке и пересмотре стандартов, нормативов и правил на устройство, испытания и эксплуатацию электроустановок жилых, общественных и производственных зданий. Правила устройства электроустановок (ПУЭ-85 [4]) действуют в части требований, не противоречащих указанному комплексу стандартов.

В связи с этим, представляется необходимым ознакомить читателя с новыми более жесткими требованиями электробезопасности в части заземлений, предъявляемыми к традиционным электроустановкам напряжением до 1 кВ, и дать определения терминам и понятиям, появившимся в связи с выходом комплексов ГОСТ 30331.1-95+ГОСТ 30331.9-95 и сменившимися названиями действующего ПУЭ-85.

Одним из существенных отличий ГОСТ 30331.2-95 от ПУЭ и ранее действовавших стандартов является появление типов системы заземления

Тип системы заземления – одна из характеристик питающей электрической сети и электроустановки, регламентирующая выполнение заземления (зануления).

В ГОСТ 30331.2-95 рассматриваются следующие типы системы заземления: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT.

Первая буква в обозначении типа системы заземления определяет характер заземления источника питания:

T – (terra – земля) непосредственное присоединение нейтрали трансформатора или одной точки токоведущих частей источника питания к земле;

I – все токоведущие части изолированы от земли или одна точка заземлена через сопротивление.

Вторая буква определяет характер заземления открытых проводящих частей электроустановки (ОПЧ):

T – непосредственная связь открытых проводящих частей (ОПЧ) электроустановки с землей, независимо от характера связи источника питания с землей;

N – непосредственная связь открытых проводящих частей электроустановки (ОПЧ) с нейтралью трансформатора или точкой заземления источника питания.

Последующие (за N) буквы определяют способ устройства нулевого защитного и нулевого рабочего проводников:

S – функции нулевого защитного (PE) и нулевого рабочего (N) проводников обеспечиваются отдельными проводниками;

C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются одним общим проводником (PEN).

Таким образом, тип системы заземления – это комплексная характеристика, которую ГОСТ устанавливает для совокупности, включающей в себя, с одной стороны, питающую электрическую сеть, с другой стороны – электроустановку.

Иллюстрации (рис. 1.1 + 1.4) различных типов систем заземления представлены на примере условной электроустановки здания, которая подключена к питающей электрической сети, состоящей из трансформаторной подстанции (ПС) и воздушной (ВЛ)

или кабельной (КЛ) линии электропередачи. Электроустановка имеет следующие электрические цепи: трехфазного и однофазного стационарных электроприемников, освещения, розеток, предназначенных для подключения переносных электроприемников класса 1 по способу защиты от поражения электрическим током.

В системе TN-C (рис.1.1) трансформаторная подстанция (источник питания) имеет непосредственную связь нейтрали трансформатора (токоведущих частей) с землей (глухозаземленная нейтраль). Все открытые проводящие части электроустановки (см. раздел 2) имеют непосредственную связь с заземляющим устройством ПС (источника питания). Для обеспечения этой связи применяется совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник (PEN).

В системе TN-S (рис.1.2) ПС (источник питания) имеет непосредственную связь нейтрали трансформатора (токоведущих частей) с землей. Все открытые проводящие части электроустановки имеют непосредственную связь с заземляющим устройством ПС (источника питания). Для обеспечения этой связи применяется отдельный нулевой защитный проводник (PE).

В системе TN-C-S (рис. 1.3) ПС (источник питания) имеет непосредственную связь нейтрали трансформатора (токоведущих частей) с землей. Все открытые проводящие части электроустановки имеют непосредственную связь с точкой заземления ПС (источника питания). Для обеспечения этой связи на головном (по ходу энергии) участке питающей электрической сети и (или) электрической цепи применяется совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник (PEN), в остальной части электрической цепи – отдельный нулевой защитный проводник (PE).

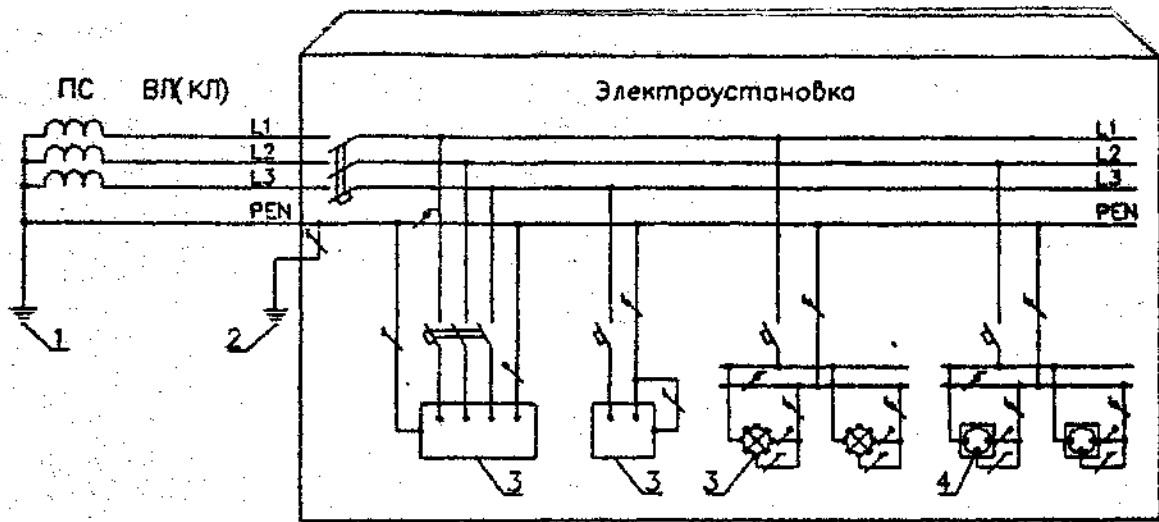


Рис. 1.1. Тип системы заземления TN-C. Нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены по всей сети

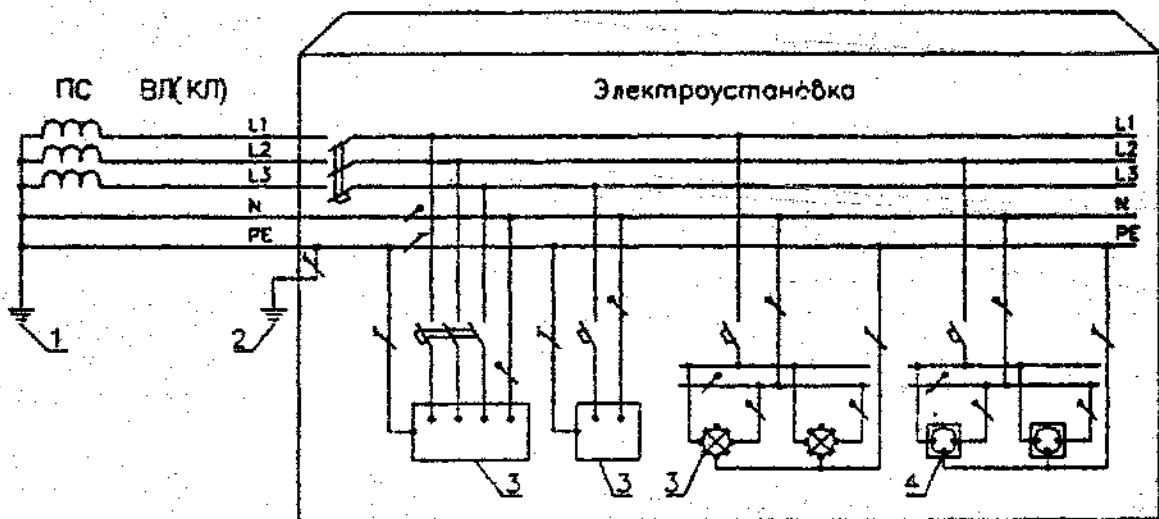
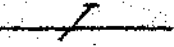




Рис. 1.2. Тип системы заземления TN-S. Нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно

Условные обозначения, принятые на рис. 1.1. и 1.2. соответствуют ГОСТ 30331.2-95

- L1, L2, L3 - фазные проводники
-  - нулевой защитный проводник (PE)
-  - нулевой рабочий проводник (N)
-  - совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник (PEN)

- 1 - заземление источника питания (нейтрали трансформатора)
- 2 - защитное заземление электроустановки на вводе в здание
- 3 - открытые проводящие части (ОПЧ)
- 4 - защитные контакты розеток

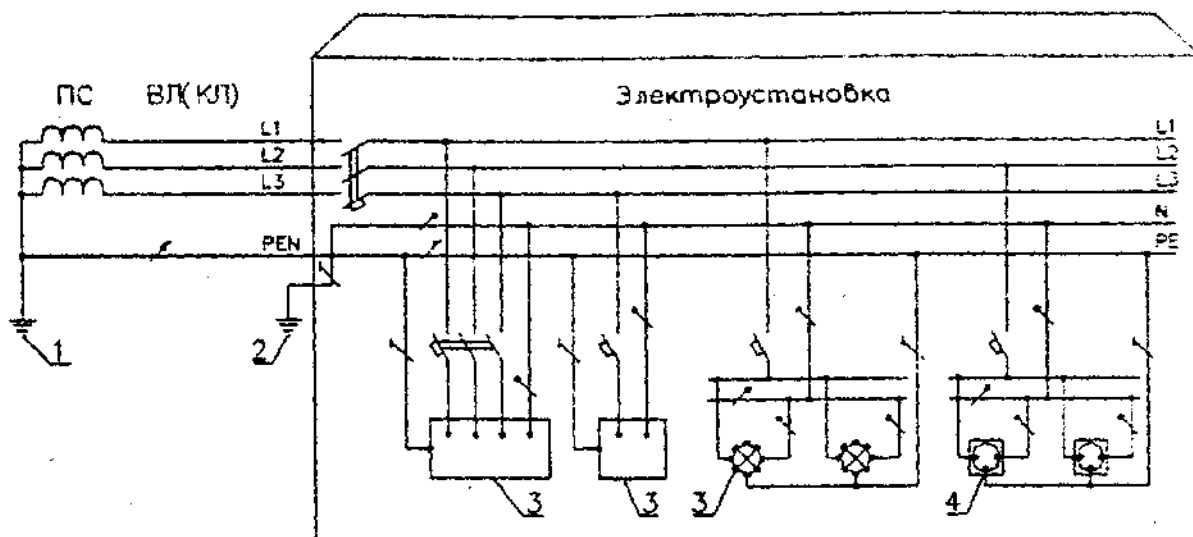


Рис. 1.3. Тип системы заземления TN-C-S. В питающей сети нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены

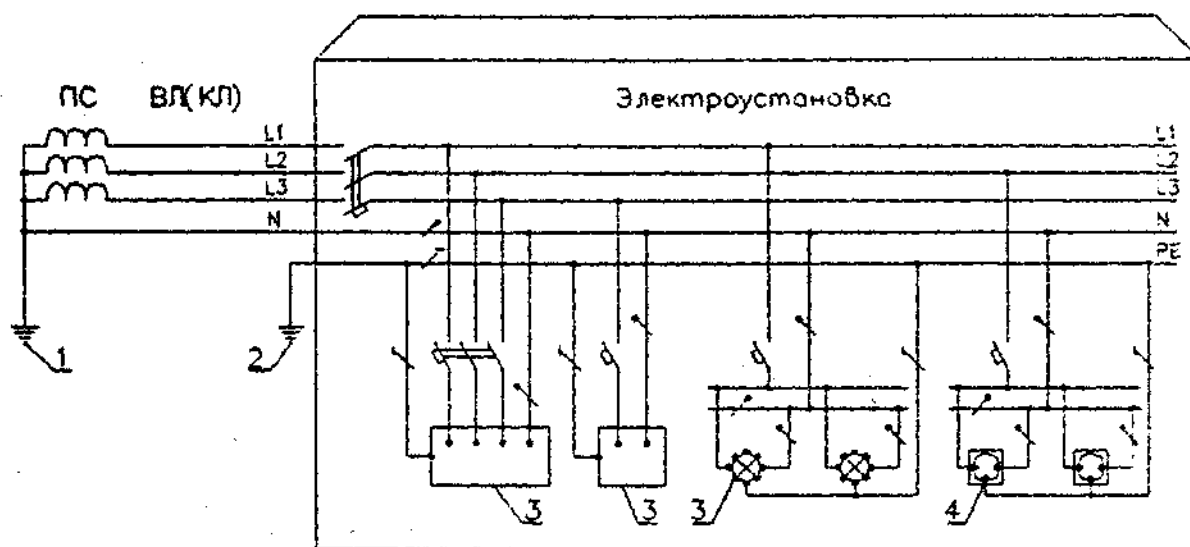




Рис. 1.4. Тип системы заземления TT

Условные обозначения, принятые на рис.1.3. И 1.4. соответствуют ГОСТ 30331.2-95

L1, L2, L3 - фазные проводники

 - нулевой защитный проводник (PE)

 - нулевой рабочий проводник (N)

 - совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник (PEN)

1 - заземление источника питания (нейтрали трансформатора)

2 - защитное заземление электроустановки на вводе в здание

3 - открытые проводящие части (ОПЧ)

4 - защитные контакты розеток

В системе ТТ (рис. 1.4) ПС (источник питания) имеет непосредственную связь нейтрали трансформатора (токоведущих частей) с землей. Все открытые проводящие части электроустановки имеют непосредственную связь с землей через заземлитель, электрически независимый от заземлителя нейтрали трансформатора (источника питания).

В системе IT питающая сеть не имеет непосредственной связи токоведущих частей с землей, а открытые проводящие части электроустановки заземлены.

В настоящее время широкое распространение имеет система TN-C, в которой открытые проводящие части электроустановки соединяются с точкой заземления нейтрали трансформатора (источника питания) совмещенным нулевым защитным и рабочим проводником. Эта система относительно простая и дешевая. Однако она не позволяет обеспечить достаточный уровень электробезопасности.

Система TN-S будет иметь ограниченное распространение, так как для ее реализации следует использовать ВЛ (КЛ), которые имеют на один проводник больше, чем в системах TN-C, TN-C-S и ТТ.

Наиболее перспективными для практического применения следует признать системы TN-C-S и ТТ, которые позволяют, с одной стороны, обеспечить более высокий уровень электробезопасности, чем система TN-C, а с другой стороны – не проводить реконструкцию существующих электрических сетей. При проектировании и монтаже электроустановок расположенных в зданиях или сооружениях из металла рекомендуется применять в качестве основного типа систему заземления ТТ.

При использовании существующих питающих электрических сетей могут быть легко реализованы три системы: TN-C, TN-C-S и ТТ.

Нулевой проводник одной и той же ВЛ (КЛ) в зависимости от типа системы заземления может выполнять разные функции. Для

электроустановок с типом системы заземления TN-C и TN-C-S нулевой проводник является совмещенным нулевым защитным и рабочим проводником, для электроустановки с системой TT – только нулевым рабочим проводником. То есть, в зависимости от типа системы заземления, один и тот же нулевой проводник ВЛ (КЛ) может выполнять функции как совмещенного нулевого защитного и рабочего проводника, так и только нулевого рабочего проводника.

Точка разделения PEN – проводника в системе TN-C-S на нулевой защитный и нулевой рабочий проводники может быть выполнена на вводе в здание (см. рис.1.3). В соответствии с ГОСТ 30331.3-95 запрещается объединять нулевой защитный и нулевой рабочий проводники за той точкой электроустановки по ходу энергии, где произошло разделение PEN – проводника. Стандарт также предъявляет следующие требования к PEN – проводнику:

- 1) его сечение должно быть не менее 10 мм^2 по меди или 16 мм^2 по алюминию;
- 2) часть электроустановки с PEN – проводником не должна быть защищена устройствами защитного отключения (УЗО), реагирующими на дифференциальные токи.

Применительно к сложившейся в республике сети напряжением 380/220 В для индивидуальных жилых домов и других, подобных им потребителей, предпочтительно применение электроустановок с типом системы заземления TN-C-S.

Сечение проводов (жил кабелей) ответвления от ВЛ (КЛ) к вводу и ввода в дом, здание или сооружение в электроустановках с типом системы заземления TN-C-S должно быть не менее 10 мм^2 по меди, или 16 мм^2 по алюминию.

2. Основные термины и понятия, применяемые в устройствах заземления

Для обеспечения единого подхода к проектированию, сооружению, испытаниям и эксплуатации заземлений, а также обеспечению взаимопонимания различных служб и организаций все должны пользоваться единой терминологией, применяемой в нормативной документации и технической литературе. К сожалению пока такого не наблюдается. Например, до сих пор в неграмотно составленных документах нередко применяется жаргон «контур заземления», хотя такого понятия нет в нормативно-технической литературе, разный смысл вкладывается в понятие «сопротивление заземляющего устройства» и т.д. С этой целью представляется необходимым привести определения основных терминов, применяемых в системе заземлений и в области электробезопасности, связанной с заземлением, а в необходимых случаях дать им соответствующие пояснения. За основу терминологии приняты трактовки из ПУЭ-85 и комплекса ГОСТ 30331.1-95+ГОСТ 30331.3-95 «Электрические установки зданий» и для большей убедительности даны ссылки на документы, из которых они заимствованы.

Электрическая сеть - совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных (ВЛ) и кабельных (КЛ) линий электропередачи, работающих на определенной территории (1.2.7. ПУЭ-85).

Электрооборудование – любое оборудование, предназначенное для производства, преобразования, передачи, распределения или потребления электрической энергии, например: машины, трансформаторы, аппараты, измерительные приборы, устройства защиты, кабельная продукция, электроприемники (ГОСТ 30331.1-95).

Электроустановка - совокупность машин, аппаратов, линий, вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии (1.1.3 ПУЭ-85, ГОСТ 30331.1-95).

Глухозаземленная нейтраль - нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформаторы тока) (1.7.4 ПУЭ-85). К сетям с глухозаземленной нейтралью относятся сети напряжением 0,38 кВ и напряжением 110 кВ и выше.

Изолированная нейтраль - нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты, заземляющие дугогасящие реакторы и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление (1.7.5 ПУЭ-85). К сетям с изолированной нейтралью обычно относятся сети напряжением 6, 10 и 35 кВ.

Заземление какой-либо части электроустановки или другой установки называется преднамеренное электрическое соединение этой части с заземляющим устройством или заземлителем, с которых происходит стекание тока непосредственно в землю (1.7.6 ПУЭ-85).

Защитное заземление - заземление частей электроустановки, открытых проводящих частей и сторонних проводящих частей с целью обеспечения электробезопасности (1.7.7 ПУЭ-85, ГОСТ 30331.2-95). Открытые проводящие части и сторонние проводящие части (ОПЧ и СПЧ) в рабочем состоянии изолированы от рабочего напряжения, но могут оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции. Подробнее см. раздел 3.

Рабочее заземление - заземление какой-либо точки токоведущих частей электроустановки, необходимое для обеспечения работы электроустановки (1.7.8 ПУЭ-85). Рабочее заземление может осуществляться непосредственно (глухое заземление) или через специальные аппараты (пробивные предохранители, разрядники, сопротивления и т.д.). Подробнее см. раздел 3.

Зануление в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ называется преднамеренное соединение частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью трансформатора или генератора (1.7.9 ПУЭ-85), так называемая система заземления типа TN по ГОСТ 30331.2-95. Зануление служит для быстрого отключения установки при замыканиях на корпус, чем обеспечивается электробезопасность.

Действующее ПУЭ-85 регламентируют требования к электробезопасности, согласно которым необходимо выполнять заземление и (или) зануление электроустановок переменного тока:

- 1) при номинальном напряжении 380В и выше – во всех электроустановках;
- 2) при номинальных напряжениях выше 42В, но ниже 380В – только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках.

Эти требования ПУЭ не обеспечивают электробезопасности как в помещениях, так и на территориях размещения наружных электроустановок. Поэтому ГОСТ 30331.3-95 ужесточил требования к системе заземления (зануления).

Для обеспечения электробезопасности согласно ГОСТ 30331.3-95 требуется выполнять заземление и (или) зануление электроустановок переменного тока:

- 1) при номинальном напряжении более 50В – во всех электроустановках,
- 2) при номинальном напряжении выше 25В – только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных электроустановках.

Напряжения указаны для действующего значения.

З а м ы к а н и е н а з е м л ю - случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с конструктивными частями, не изолированными от земли, или непосредственно с землей (1.7.10 ПУЭ-85). Замыкание на землю возникают вследствие пробоя изоляции, обрыва и падения провода и т.п.

З а м ы к а н и е н а к о р п у с - случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с их конструктивными частями (ОПЧ) нормально не находящимися под напряжением (1.7.10 ПУЭ-85). Замыкания на корпус возникают вследствие пробоя изоляции, случайного соприкосновения неизолированных проводов с корпусом и т.п.

Т о к з а м ы к а н и я н а з е м л ю - ток, стекающий в землю через место замыкания (1.7.25 ПУЭ-85, ГОСТ 30331.1-95). Ток замыкания на землю возникает вследствие повреждения изоляции или обрыва и падения провода на землю или на конструкции. Подробнее см. раздел 3.

З а з е м л я ю щ е е у с т р о й с т в о - совокупность заземлителя и заземляющих проводников (1.7.11 ПУЭ-85).

З а з е м л и т е л ь - проводник или совокупность металлически соединенных между собой проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей (1.7.12 ПУЭ-85, ГОСТ 30331.1-95). Заземлитель всегда находится в земле, воде или другой проводящей среде.

И с к у с с т в е н н ы й з а з е м л и т е л ь - заземлитель, специально выполняемый для целей заземления (1.7.13 ПУЭ-85). Как

правило, искусственный заземлитель выполняется из полосовой стали сечением не менее 4x12 мм или круглой стали диаметром не менее 10 мм (1.7.72 ПУЭ-85).

Естественные заземлители - находящиеся в соприкосновении с землей электропроводящие части коммуникаций, зданий и сооружений производственного или иного назначения, используемые для целей заземления (1.7.14 ПУЭ-85).

К естественным заземлителям относятся: металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, подземные части железобетонных опор ВЛ, водопроводные металлические трубопроводы, нулевые провода ВЛ 0,38 кВ с повторными заземлителями (могут служить единственным заземлителем при количестве ВЛ не менее двух), обсадные трубы скважин, водоводы, свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле (могут служить единственным заземлителем при количестве кабелей не менее двух) и т.п. Если сопротивление естественных заземляющих устройств имеет допустимые значения, то искусственные заземлители применяются лишь при необходимости снижения плотности токов, протекающих по естественным заземлителям или стекающих с них (п.1.7.35, 1.7.63, 1.7.70, 1.7.73 ПУЭ-85).

Электрически независимые заземлители - заземлители, расположенные на таком расстоянии друг от друга, что максимально возможный ток, который может протекать по одному из них, не влияет заметно на потенциал остальных (ГОСТ 30331.1-95).

Магистраль заземления или зануления - соответственно заземляющий или нулевой защитный проводник с двумя или более ответвлениями (1.7.15 ПУЭ-85). Каждая заземляемая часть электроустановки должна быть присоединена к заземляющей магистрали отдельным ответвлением. Последовательное включение заземляемых частей (электрооборудования) – запрещено.

З а з е м л я ю щ и й п р о в о д н и к - проводник, соединяющий заземляемые части с заземлителем (1.7.16 ПУЭ-85, ГОСТ 30331.1-95). Заземляющими проводниками могут служить специальные проводники, технологические металлоконструкции, на которых крепится электрооборудование, алюминиевые оболочки силовых кабелей, металлические конструкции зданий, сооружений, опор воздушных линий электропередачи и т.п.

Нулевой защитный проводник (РЕ - проводник) в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ - проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтралью трансформатора или генератора (1.7.17 ПУЭ-85, ГОСТ 30331.1-95) в системе заземления TN. Наименьшие размеры заземляющих и нулевых защитных проводников приведены в таблице 2.1.

З а щ и т н ы й п р о в о д н и к (РЕ – проводник) - проводник, применяемый для выполнения защитных мер от поражения электрическим током в случае повреждения и для соединения открытых проводящих частей (ОПЧ) в системе заземления TT:

с другими ОПЧ;

со сторонними проводящими частями (СПЧ);

с заземлителем, заземляющим проводником или заземленной токоведущей частью (ГОСТ 30331.1-95).

Таблица 2.1.

Наименьшие размеры заземляющих, нулевых защитных проводников и заземляющих спусков на опорах ВЛ 0,38 кВ и 10 кВ (табл. 1.7.1., п.п. 2.4.25, 2.5.80 ПУЭ-85)

Наименование	Сечение, мм ²		Диаметр, мм		Толщина, мм	
	0,38 кВ	10 кВ	0,38 кВ	10 кВ	0,38 кВ	10 кВ
Сталь круглая неоцинкованная	-	-	6	10	-	-
То же, оцинкованная	-	-	6	6	-	-
Сталь полосовая неоцинкованная	48	48	-	-	4	4
Сталь угловая неоцинкованная, (толщина полки)	-	-	-	-	2,5	2,5
Стальные трубы водогазопроводные и тонкостенные, (толщина стенки)	-	-	-	-	2,5	-
Изолированные провода: с медной многопроволочной жилой	1,5	-	-	-	-	-
с алюминиевой однопроволочной жилой, предназначенной для зануления корпусов светильников уличного освещения	2,5	-	-	-	-	-

При прокладке проводов в трубах сечение нулевых защитных проводников (медных) допускается принимать равным 1 мм², если фазные проводники имеют то же сечение, например, в светильниках уличного освещения.

Нулевой рабочий проводник (N – проводник) в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ - проводник, используемый для питания электроприемников и соединения их нулевого вывода с глухозаземленной нейтралью трансформатора или генератора (ГОСТ 30331.1-95).

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью нулевой рабочий проводник может выполнять функции нулевого защитного проводника (1.7.18 ПУЭ-85). В этом случае он называется совмещенным нулевым защитным и рабочим проводником (PEN – проводником, ГОСТ 30331.1-95).

Токоведущие части - проводники или электропроводящие части электроустановки, могущие находится под напряжением в нормальных условиях, включая нулевой рабочий проводник (ПУЭ-85, ГОСТ 30331.1-95).

Открытые проводящие части (ОПЧ) - нетоковедущие части электроустановки, доступные прикосновению, которые могут оказаться под напряжением при нарушении изоляции токоведущих частей, например, корпуса электродвигателей, щитков, панелей и т.п. (ГОСТ 30331.1-95).

Сторонние проводящие части (СПЧ) - проводящие части, которые не являются частями электроустановки, но могущие приобрести потенциал при определенных условиях, например, трубы отопления, водопровод, металлические газовые сети, заземленные металлоконструкции, опорные колонны и т.п. (ГОСТ 30331.1-95).

Зона растекания - область земли, в пределах которой возникает заметный градиент потенциала при стекании тока с заземлителя (1.7.19 ПУЭ-85).

Зона нулевого потенциала - зона земли за пределами зоны растекания (1.7.20 ПУЭ-85).

Ток в земле растекается во все стороны от заземлителя, т.е. протекание тока в земле носит объемный характер. Рассмотрим прохождение тока между двумя вертикальными заземлителями (стержнями) А и В, находящимися на значительном расстоянии друг от друга в однородной земле (рис.2.1). В неоднородной земле симметрия растекания нарушится, но принцип остается таким же.

Пунктирными линиями показаны пути растекания тока в земле. Вблизи заземлителей плотность тока наибольшая, так как здесь ток проходит по малому сечению. По мере удаления от заземлителей плотность тока постепенно уменьшается ввиду того, что ток растекается по все большему объему земли. На расстоянии 20-30 м от единичного заземлителя (стержня длиной 2-3 м) ток в земле растекается по столь большому объему, что его плотность на этом расстоянии можно считать равной нулю.

Таким образом, сопротивление растеканию тока практически сосредоточено в радиусе 20-30 м от места входа или выхода тока (рис.2.1). Поэтому те точки земли, которые находятся на расстоянии 20 м и более от одиночных заземлителей А и В, практически будут иметь потенциал, равный нулю, т.е. будут являться землей в электрическом смысле слова (зона нулевого потенциала).

При больших (сложных) заземлителях указанные расстояния будут значительно больше 20 м и доходить до нескольких сот и даже тысяч метров. Поэтому в общем случае зоной нулевого потенциала называют те точки земли, которые лежат вне зоны растекания тока, и потенциал которых настолько мал, что его можно принять равным нулю.

Сопротивление заземляющего устройства - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю (1.7.26 ПУЭ-85).

Под сопротивлением заземлителя (заземляющего устройства) растеканию тока следует понимать не сопротивление контакта между

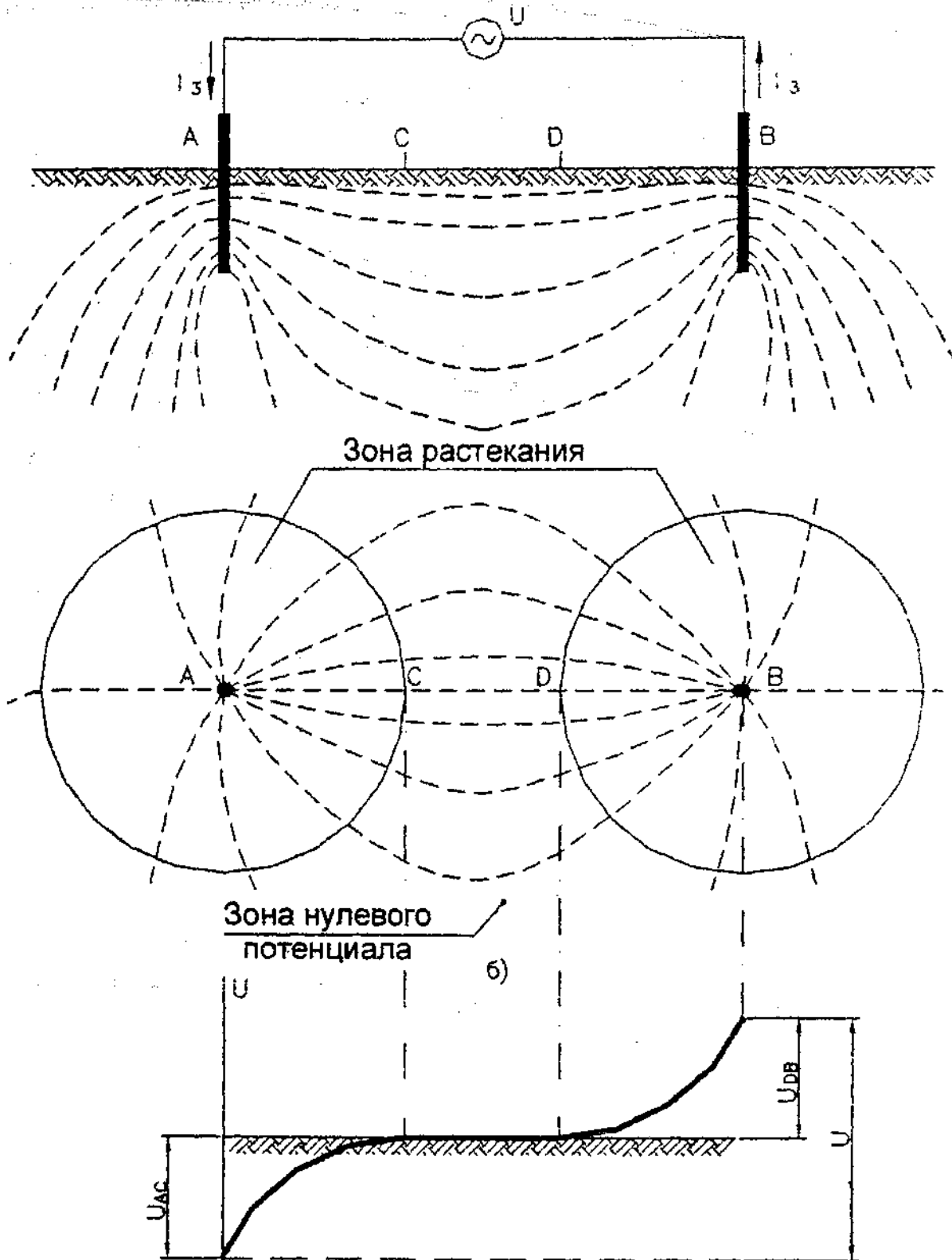


Рис. 2.1. Прохождение тока (а) и распределение напряжения (б) в однородной земле между стержневыми заземлителями А и В.

заземлителем и почвой, а сопротивление, которое земля оказывает прохождению тока в земле в зоне растекания тока. Условно принято относить сопротивление растеканию тока к заземлителю, а не к земле.

Из рис. 2.1 видно, что все точки земли, находящиеся на участке СД, имеют нулевой потенциал, так как на этом участке плотность тока в земле ничтожно мала и нет падения напряжения. Наибольшие потенциалы будут на заземлителях А и В. Их потенциалы называют полными потенциалами или напряжением на заземлителе U_A и U_B , которые равны:

$$U_A = -I_3 R_A = -U_{AC} \quad (2.1)$$

$$U_B = I_3 R_B = U_{BD}$$

Разные знаки у потенциалов U_A и U_B объясняются разным направлением токов, протекающих через заземлители.

Из (2.1) сопротивление заземлителей А и В:

$$R_A = \frac{U_A}{I_3}, \quad R_B = \frac{U_B}{I_3}, \quad (2.2)$$

где I_3 - ток стекающий (втекающий) с заземлителя.

Напряжение на заземляющем устройстве - напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземляющее устройство и зоной нулевого потенциала (1.7.21 ПУЭ-85).

Если при помощи вольтметра измерить разность потенциалов между заземлителем А (рис.2.1б) и зоной нулевого потенциала, получим полный потенциал заземлителя U_A или, другими словами, напряжение на заземлителе (заземляющем устройстве) $U_A = U_{AC}$.

Напряжение относительно земли при замыкании на корпус - напряжение между этим корпусом и зоной нулевого потенциала (п.1.7.22 ПУЭ-85).

Напряжение прикосновения - напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека (п.1.7.23 ПУЭ-85), или напряжение, появляющееся на теле человека при одновременном прикосновении к двум точкам проводников или проводящих частей, в том числе при повреждении изоляции (ГОСТ 30331.1-95).

Если при помощи вольтметра измерить разность потенциалов на поверхности земли при разных расстояниях от заземлителя (для простоты понимания рассматривается одиночный стержневой заземлитель в однородной земле рис.2.2) и результаты нанести на диаграмму, получим кривую распределения потенциалов по поверхности земли U . Из этих кривых видно, что наивысший потенциал имеет заземлитель (U_3) и электрически связанные с ним кожух (бак) трансформатора и все надземные металлические конструкции.

Вблизи заземлителя потенциал падает очень резко, а дальше от заземлителя - постепенно. В общем случае характер кривой распределения потенциалов по поверхности земли различный и зависит от формы заземлителя, взаимного расположения отдельных элементов в заземлителе, глубины их заложения, электрической структуры земли и практически не зависит от величины стекающего тока.

По мере углубления заземлителя потенциал точек на поверхности земли непосредственно над заземлителем уменьшается, так как в слое земли между верхним краем заземлителя и поверхностью земли происходит падение напряжения, которое тем больше, чем глубже расположен заземлитель. Это следует помнить при укладке потенциаловывравнивающих заземлителей для снижения напряжений

прикосновения. Чем на меньшей глубине они уложены, тем ближе потенциал поверхности земли к потенциалу заземлителя (заземленных корпусов оборудования, приводов разъединителей и т.п.) и тем меньше разность потенциалов между заземленными надземными металлоконструкциями и землей.

Если человек касается рукой корпуса аппарата или оборудования с поврежденной изоляцией токоведущих частей (на рис.2.2 бака трансформатора 10/0,4 кВ), то напряжение между баком и поверхностью земли, где стоят ноги человека составит:

$$U_{\text{до пр.}} = U_3 - U = I_3 R_3 - U,$$

где $U_{\text{до пр.}}$ – напряжение до прикосновения (иногда называют ожидаемое напряжение прикосновения).

I_3 – ток замыкания на землю,

R_3 – сопротивление заземлителя,

U – потенциал поверхности земли в конкретной точке,

$U_{\text{допр.}}$ - это разность потенциалов между точкой земли и заземленными частями оборудования в момент, когда человек еще не коснулся оборудования, т.е. когда цепь тока, протекающего через тело человека, еще не замкнута. Напряжение до прикосновения можно измерить вольтметром с бесконечно большим внутренним сопротивлением, например, электростатической системы. При этом электрод, обеспечивающий контакт с землей, может быть произвольной конструкции (круг, пластина, полусфера и т.п.).

Как видно из рис. 2.2. $U_{\text{до пр.}}$ существенно зависит от расположения человека относительно заземлителя, с которым соединен бак трансформатора. Например, при $R_3=10$ Ом, $I_3=10$ А, $U_{\text{до пр.}} = I_3 R_3 - U = 10 \cdot 10 - 70 = 30$ В с левой стороны бака (вблизи заземлителя), где $U = 70$ В – потенциал поверхности земли, в месте расположения человека.

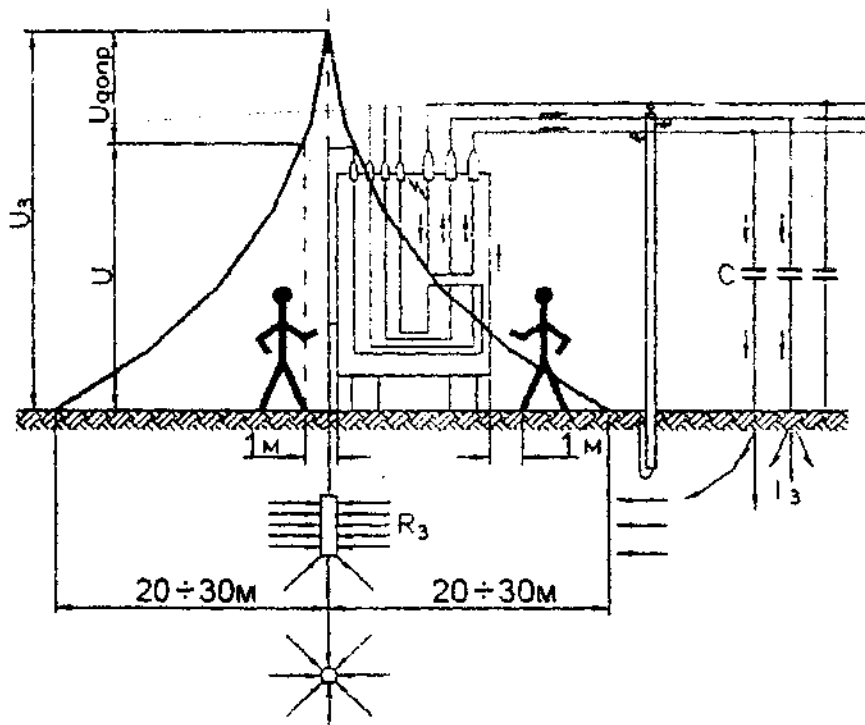


Рис. 2.2. Распределение потенциала по поверхности земли при растекании тока с одиночного заземлителя в однородной земле

- U_3 - полный потенциал заземлителя (напряжение на заземлителе)
- U - потенциал поверхности земли на определенном расстоянии от заземлителя
- $U_{гопр}$ - напряжение до прикосновения
- I_3 - ток замыкания на землю (корпус)

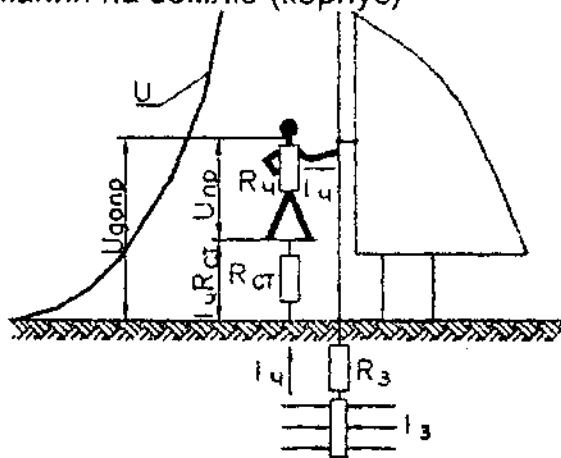


Рис. 2.3. К определению понятия напряжения прикосновения

- U - распределение потенциалов по поверхности земли при стекании (втекании) тока однофазного замыкания с заземляющего устройства
- I_3 - ток замыкания на землю
- R_3 - сопротивление заземляющего устройства
- I_4 - ток, протекающий через тело человека по пути "рука-ноги"
- $R_ч$ - сопротивление тела человека
- $R_{ст}$ - сопротивление растеканию тока со ступней ног человека
- $U_{гопр}$ - напряжение до прикосновения
- $U_{пр}$ - напряжение прикосновения

С правой стороны бака (на некотором расстоянии от заземлителя)
 $U_{до пр} = 100 - 12 \approx 88 \text{ В.}$

Напряжение прикосновения – это падение напряжения на сопротивлении тела человека в момент его прикосновения к заземленному оборудованию и протекании через человека тока. Напряжение прикосновения всегда меньше, чем напряжение до прикосновения. Это обусловлено тем, что ток, протекающий по пути «рука - ноги», встречает на своем пути два сопротивления (рис.2.3). Одно из них – $R_{ч}$ включает сопротивление человеческого тела, сопротивление кожи рук и ног (сопротивлением недиэлектрической обуви пренебрегают), второе $R_{ст}$ - сопротивление растеканию тока со стоп ног человека. $R_{ст}$ практически не зависит от конструкции заземлителя и определяется удельным сопротивлением земли (пола) ρ , на которой стоит человек $R_{ст} = 1,5 \rho$.

На рис. 2.3 приведена утрированная схема замещения, в которой распределенные сопротивления заземлителя (заземляющего устройства) и стоп ног для наглядности изображены сосредоточенными.

Определим величины напряжений прикосновения для вышеуказанного примера (рис.2.2). Примем удельное сопротивление земли $\rho=300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Из рис. 2.3 видно:

$$U_{пр} = I_{ч} R_{ч} = \frac{U_{допр}}{R_{ст} + R_{ч}} \cdot R_{ч} = \frac{U_{допр}}{1,5\rho + R_{ч}} \cdot R_{ч}$$

Напряжение прикосновения с левой стороны бака будет

$$U_{пр} = \frac{30}{1,5 \cdot 300 + 1000} \cdot 1000 \approx 21 \text{ В,}$$

с правой стороны

$$U_{пр} = \frac{88}{1,5 \cdot 300 + 1000} \cdot 1000 \approx 61 \text{ В.}$$

Следует помнить, что напряжение прикосновения измеряется вольтметром с внутренним сопротивлением 1 кОм. Если оно выше 1 кОм,

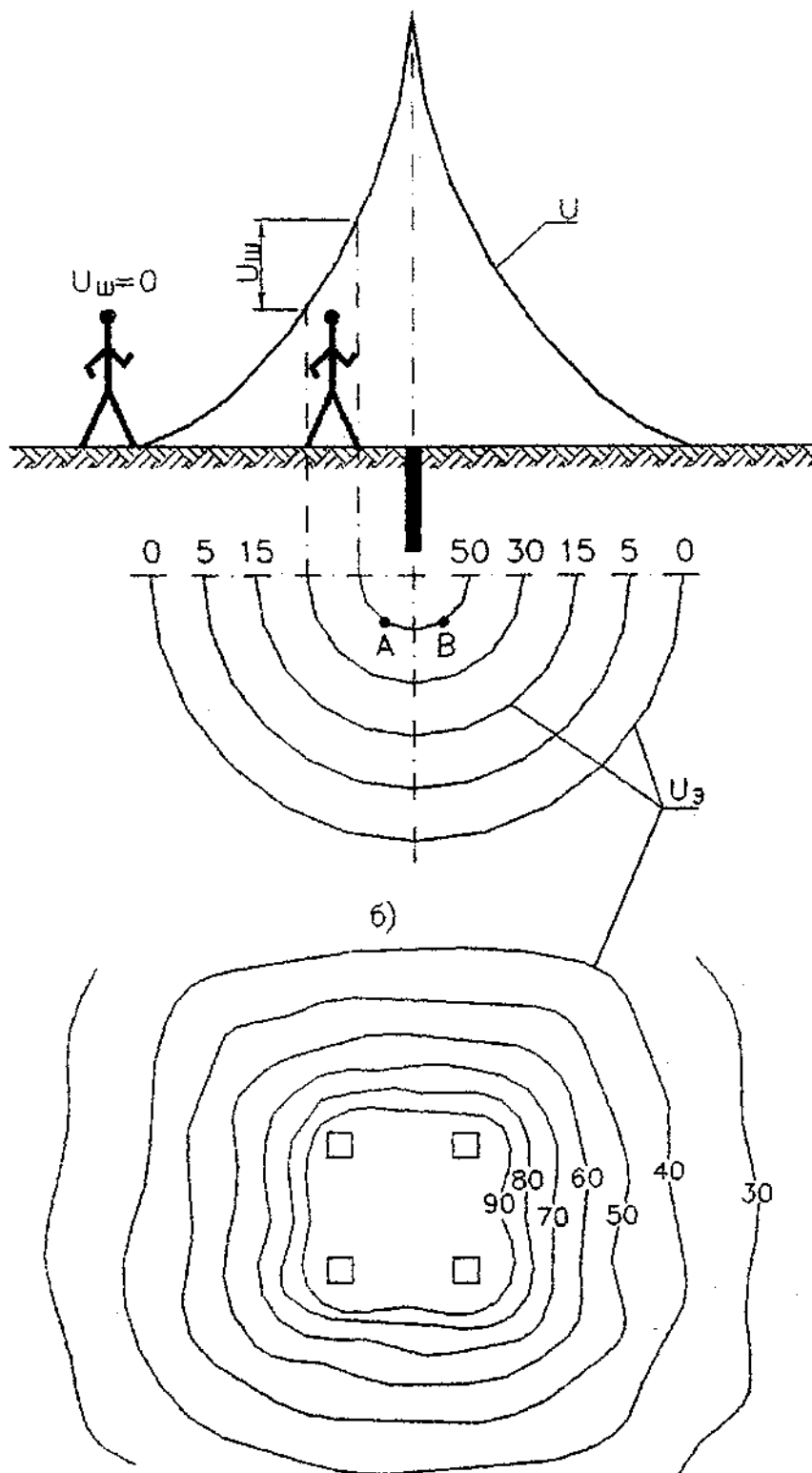


Рис. 2.4. Распределение потенциала U по поверхности земли у одиночного заземлителя в однородной земле (а) и у заземлителя ТП в реальной земле (б)

U_3 - эквипотенциальные линии или линии одинакового потенциала с обозначением в процентах от потенциала заземления

$U_{ш}$ - напряжение шага

подбирается шунт обеспечивающий общее сопротивление 1 кОм, т.е. суммарное сопротивление должно равняться принятой ГОСТ 12.1.038-82 [13] величине сопротивления тела человека $1 \pm 10\%$ кОм. Стопы ног имитируются квадратной пластиной определенных размеров и конструкции.

Напряжение шага - напряжение между двумя точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю, при одновременном касании их ногами человека (1.7.24 ПУЭ-85). Величину шага человека обычно принимают 0,8 м.

При растекании тока в земле между разными точками земли возникает разность потенциалов. Если ноги человека будут касаться этих точек, то он попадает под шаговое напряжение. Кривые распределения потенциалов вокруг заземлителя показывают, что по мере удаления от заземлителя или от места замыкания на землю величина шагового напряжения постепенно уменьшается от наибольшего значения до нуля.

На рис. 2.4 нанесены кривые распределение потенциалов около одиночного заземлителя и заземлителя ТП. В однородной земле эквипотенциальные линии представляют из себя окружности с центром в месте заземлителя, а в неоднородной – фигуры другой формы. Из этого рисунка видно, что шаговое напряжение может равняться нулю даже в непосредственной близости от заземлителя, если ноги человека находятся на эквипотенциальной линии, например, в точках А и В. Допустимая величина шагового напряжения не нормируется, так как шаговое напряжение всегда меньше напряжения прикосновения. Однако шаговое напряжение может оказаться опасным, особенно для животных, у которых большее чем у человека расстояние между ногами и которые более чувствительны к напряжению (12 В является для них поражающим напряжением).

По этой причине действующие правила и инструкции безопасности предписывают применять меры защиты путем выравнивания потенциалов и (или) использования персоналом диэлектрической обуви.

Выравнивание потенциалов – это снижение разности потенциалов между заземленными металлическими конструкциями (ОПЧ) (заземляющим устройством) и поверхностью земли путем электрического соединения этих конструкций с уложенными в земле защитными потенциаловыравнивающими проводниками.

Выравнивание потенциалов предназначено для предотвращения появления опасного напряжения прикосновения и шага на территории электроустановки при повреждении изоляции и стекании (втекании) токов короткого замыкания с заземляющего устройства (см. также на стр. 22 определение термина «напряжение прикосновения»).

Уравнивание потенциалов - это снижение разности потенциалов между доступными одновременно прикосновению открытыми проводящими частями (ОПЧ), сторонними проводящими частями (СПЧ), заземляющими и защитными проводниками (РЕ-проводниками), а также PEN – проводниками, путем электрического соединения всех этих частей между собой.

Защитным отключением в электроустановках до 1 кВ называется автоматическое отключение всех фаз (полюсов) участка сети, обеспечивающее безопасные для человека сочетания тока и времени его прохождения при замыканиях на корпус или снижении уровня изоляции ниже определенного значения (1.7.28 ПУЭ-85).

Особенности защиты – быстроедействие и высокая чувствительность – создают возможность осуществить безопасность при прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением. Защитное отключение способствует уменьшению числа пожаров из-за токов утечки, возникающих при снижении сопротивления изоляции. Эта мера защиты является дополнительной мерой защиты [5] и применяется в сочетании с заземлением и выравниванием потенциалов. Существует большое число схем и конструкций устройств защитного отключения,

основанных на разных принципах, однако достаточно универсального и надежного устройства нет.

М а л о е н а п р я ж е н и е - номинальное напряжение не более 42 В между фазами и по отношению к земле, применяемое в электрических установках для обеспечения электробезопасности (1.7.30 ПУЭ-85).

Согласно ПУЭ-85 при номинальных напряжениях до 42 В переменного тока заземление или зануление электроустановок не требуется во всех случаях, кроме взрывоопасных зон и электросварочных установок. ГОСТ 30331.3-95 ужесточил эти требования для жилых, общественных и производственных зданий: не требуется выполнять заземление или зануление электроустановок при номинальных напряжениях до 25 В во всех случаях, кроме взрывоопасных зон и электросварочных установок.

Малые напряжения применяются только при небольшой мощности электроприемников, так как с ростом мощности возрастают токи и требуются большие сечения проводов.

Малые напряжения обычно применяются для переносных электроприемников, местного и ремонтного освещения и т.п.

Эквивалентным дельным сопротивлением земли с неоднородной структурой называется такое удельное сопротивление земли с однородной структурой, в которой сопротивление заземляющего устройства имеет то же значение, что и в земле с неоднородной структурой (1.7.27 ПУЭ-85).

Отметим, что однородных электрических структур земли в практике не существует. Удельное сопротивление земли меняется как по вертикали (глубине), так и по горизонтали.

3. Назначение заземлений в сетях 0,38-10 кВ

Основное назначение заземления (зануления в сетях 0,38 кВ) – защита людей и животных от поражения электрическим током при повреждении изоляции и защита электрооборудования, электроустановок, зданий и сооружений от грозových (атмосферных) перенапряжений. Надежность выполнения этих функций обеспечивается соблюдением нормированных значений сопротивления заземляющих устройств опор ВЛ, трансформаторных подстанций, оборудования и аппаратов, а также местом установки заземлений в сетях 10 и 0,38 кВ. Нормы и места установки заземлений указаны в [7].

По выполняемым функциям различают защитное, рабочее и грозозащитное заземление. Часто эти различные по назначению заземления выполняет одновременно несколько функций.

Рабочее заземление необходимо для нормального функционирования электрической установки. К рабочим заземлениям относятся заземления нейтрали силовых трансформаторов класса 110 кВ и выше, ограничителей перенапряжений (ОПН) и разрядников всех классов напряжения, вторичных обмоток измерительных трансформаторов напряжения и других подобных им аппаратов. Например, при отсутствии или слишком высоком сопротивлении заземления ОПН (разрядников) они не защитят изоляцию электрооборудования от импульсных перенапряжений и их наличие при указанных выше условиях бесполезно, т.к. ОПН (разрядник) не может нормально работать и отводить импульсные токи в землю при отсутствии заземления.

Силовые трансформаторы с высшим напряжением 110 кВ и выше, имеющие ослабленную изоляцию нулевого вывода относительно керна и корпуса (бака), не могут работать без рабочего

заземления. При незаземленном нулевом выводе неизбежно произойдет пробой изоляции обмоток с серьезными повреждениями трансформатора.

Грозозащитное заземление предназначено для защиты электрооборудования, зданий и сооружений от воздействия тока молнии. Повреждения изоляции электрооборудования на объекте (подстанции, здания, открытые площадки) могут быть вызваны ударами молнии непосредственно в объект или возникновением высоких импульсных потенциалов в результате импульсов, набегающих с линии при поражении молнией непосредственно линии или объектов и земли вблизи линии (индуцированный потенциал). От прямых ударов молнии оборудование объектов защищается системой молниеотводов и заземлений, а от набегающих по линии импульсов (волн) основной защитой являются ОПН (разрядники). ОПН (разрядники) рассчитаны на определенные импульсные токи и напряжения и, если последние будут превышены, то ОПН (разрядник) разрушится и не выполнит свои защитные функции. Поэтому на всех воздушных линиях (ВЛ) устраиваются грозозащитные заземления, т.е. заземляется каждая опора или через определенное нормированное расстояние отдельные опоры. Это делается для того, чтобы ток молнии, перекрывая изоляцию ВЛ, отводился в землю через заземлители опор. В этом случае до объекта (подстанции, здания) доходят импульсы не с амплитудой тока молнии, ударившей в линию, а со значительно меньшей амплитудой, т.к. раньше произойдет перекрытие линейной изоляции. Однако оставшееся на проводах импульсное напряжение достаточно высокое и опасное для изоляции подключенного к ВЛ оборудования, так как импульсное разрядное напряжение гирлянд, штыревых изоляторов и другой линейной изоляции примерно на 40-50% выше допустимого импульсного напряжения для электрооборудования, но уже безопасное для ОПН (разрядников). Без грозозащитных заземлений на ВЛ осуществить защиту зданий, изоляции подстанционного оборудования, а также электроустановки

потребителя невозможно. Если эти заземления выполнены с отступлением от существующих норм, неизбежно разрушение ОПН (разрядников), пробой изоляции оборудования и выход его из строя, а также занос высоких импульсных напряжений в здания по ВЛ.

Защитным заземлением является соединение с заземлителем металлических частей электроустановки (открытых проводящих частей), изолированных от частей, находящихся под напряжением (токоведущих частей), но которые могут оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции. К таким частям (ОПЧ) относятся корпуса электрических машин, кожухи (баки) трансформаторов, каркасы распределительных щитов, металлические трубы, в которых проложены изолированные провода и т.п. Чисто защитные функции защитные заземления выполняют в сетях с изолированной нейтралью.

Задачей защитного заземления является защита людей и животных от опасных для жизни напряжений в случае появления их на частях установки, нормально не находящейся под напряжением. Роль защитного заземления наглядно видна из рис. 3.1. Если кожух (бак) трансформатора не заземлен (рис.3.1а), то при пробое изоляции одной из фаз трансформатора его кожух (бак) оказывается по отношению к земле под напряжением, вследствие чего прикосновение к нему становится столь же опасным, как и прикосновение непосредственно к незаземленной фазе (стрелками показано протекание тока через тело человека).

При наличии заземления (рис.3.1б) кожух трансформатора оказывается по отношению к земле под напряжением

$$U_3 = I_3 R_3, \quad (3.1)$$

где R_3 – сопротивление заземлителя (заземляющего устройства),

I_3 – ток однофазного замыкания на землю.

Ток однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью определяется напряжением сети и

емкостью фаз по отношению к земле C , или длиной линии. Ориентировочно он может быть оценен по формуле [1]:

$$I_3 = \frac{U(35I_K + I_B)}{350} \text{ А,} \quad (3.2)$$

где U – линейное напряжение, кВ,

I_K – общая длина электрически связанных между собой кабельных линий, км,

I_B – общая длина электрически связанных между собой воздушных линий, км.

В случае наличия заземления (рис.3.1в) при соприкосновении человека с кожухом ток замыкания на землю I_3 распределится между заземлителем и человеком обратно пропорционально их сопротивлениям:

$$\frac{I_{\text{ч}}}{I_3 - I_{\text{ч}}} = \frac{R_3}{R_{\text{ч}}}. \quad (3.3)$$

Здесь $I_{\text{ч}}$ – ток протекающий через тело человека,

$I_3 - I_{\text{ч}}$ – ток протекающий через заземлитель,

$R_{\text{ч}}$ – сопротивление цепи протекания тока через тело человека, которое складывается из сопротивления непосредственно тела человека и сопротивления растеканию (втеканию) тока со ступней ног человека.

Так как $R_3 \ll R_{\text{ч}}$ ($R_3 \approx 4 + 10$ Ом, $R_{\text{ч}} \approx 1000 + 6000$ Ом), то $I_{\text{ч}} \ll I_3$, поэтому можно принять $I_3 - I_{\text{ч}} = I_3$, тогда из (3.3) и с учетом (3.1):

$$I_{\text{ч}} \approx I_3 \frac{R_3}{R_{\text{ч}}} \approx \frac{U_3}{R_{\text{ч}}} \quad (3.4)$$

Таким образом, чем меньше R_3 , тем меньше напряжение на заземлителе и меньше ток, проходящий через тело человека. Нормированные величины сопротивления заземлителей (заземляющих устройств) должны быть такими, чтобы этот ток не был опасен для жизни человека.

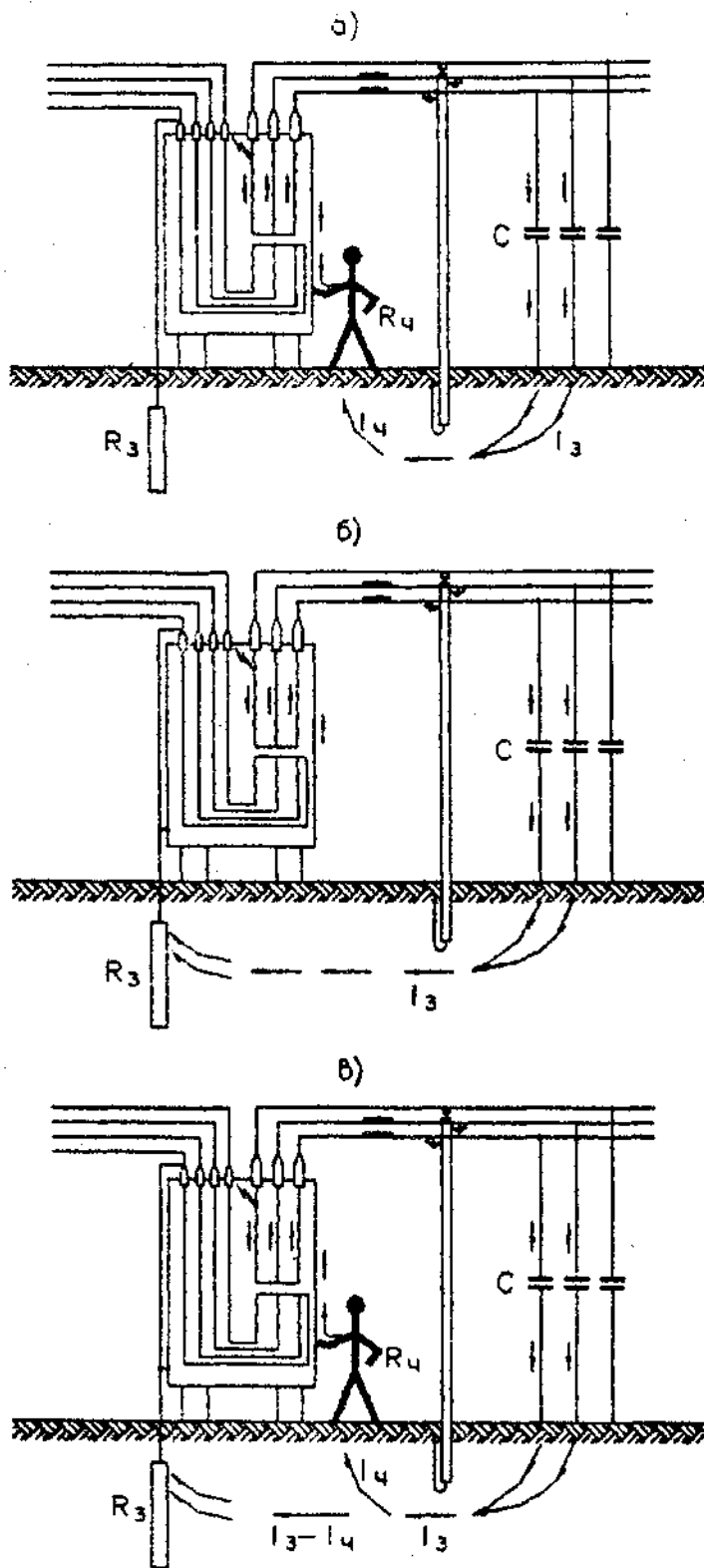


Рис. 3.1. Пояснение роли защитного заземления

C - емкость фазы сети по отношению к земле

I_3 - ток однофазного замыкания на землю

R_3 - сопротивление заземлителя (заземляющего устройства)

I_4 - ток, протекающий через тело человека

R_4 - сопротивление цепи протекания тока через человека

В сетях 380/220 В с глухозаземленной нейтралью безопасность обслуживания обычно обеспечивается быстрым отключением линии, питающей приемник, при замыкании одной из фаз на корпус. Для этого применяют зануление корпусов электрооборудования, т.е. выполняется соединение корпусов электроприемников с нулевым проводом (PEN или PE проводником), который подсоединен к заземленной нейтрали трансформатора (рис.3.2). При замыкании фазы на корпус приемника в установке возникает однофазный ток короткого замыкания, вызывающий отключение поврежденного элемента установки вследствие перегорания плавкой вставки предохранителя или отключения автомата максимального тока, благодаря чему предотвращается длительное появление опасных потенциалов на металлических частях установки (ОПЧ), с которыми может соприкоснуться человек.

Величина тока определится

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{Z} \text{ А,} \quad (3.5)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение, В

Z – полное сопротивление цепи замыкания (цепи фаза-нуль), Ом.

Величина потенциала на корпусе определяется распределением напряжения между фазным и нулевым проводником (падением напряжения на сопротивлениях фазного и нулевого проводника, если не учитывать другие сопротивления в цепи замыкания). По требованию ПУЭ проводимость нулевого провода должна составлять не менее 50% проводимости фазных проводов. При таком решении напряжение распределится между фазным и нулевым проводником в отношении 1:2, т.е. на нулевой проводник придется $2/3$ фазного напряжения или для сети 380/220 В:

$$U_{Н} = 220 \cdot \frac{2}{3} \approx 146 \text{ В.}$$

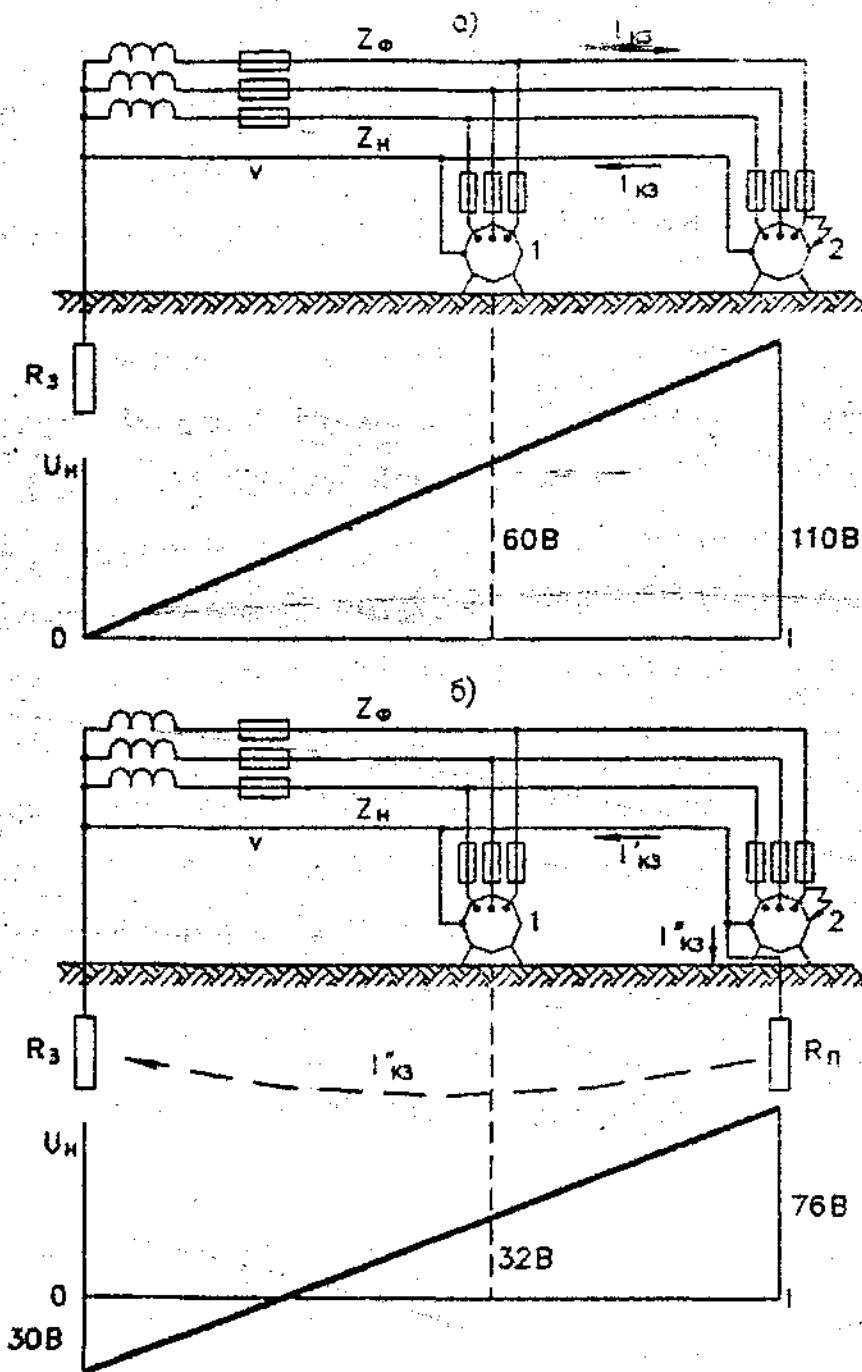


Рис. 3.2. Распределение напряжений по отношению к земле в нулевом проводе: а) без повторного заземления; б) при повторном заземлении

U_n - напряжение на нулевом проводе по отношению к земле

l - длина линии (нулевого проводника)

$I_{кз}$ - ток однофазного короткого замыкания на корпус

Z_n - сопротивление нулевого провода

Z_ϕ - сопротивление фазного провода

R_3 - сопротивление заземления нейтрали трансформатора 10/0,4 кВ

R_n - сопротивление повторного заземления

$I'_{кз}$ - часть тока короткого замыкания, протекающая по нулевому проводу

$I''_{кз}$ - часть тока короткого замыкания, протекающая по земле

v - условное обозначение места разрыва нулевого провода

Поэтому с точки зрения улучшения условий безопасности желательно сечение нулевых проводников иметь большее чем сечение фазных. При равных сечениях $U_n = 220:2=110$ В. Для уменьшения сопротивления цепи нулевого проводника и снижения напряжения прикосновения применяют повторные заземления нулевого провода (рис. 3.26).

Рассмотрим случай замыкания на корпус при отсутствии и наличии повторного заземления (рис.3.2). Линия выполнена проводом А-35 (фазные и нулевой провод, $Z_\phi=Z_n=0,968$ Ом/км). Расстояние от потребителя до трансформатора 1 км. Сопротивление заземления нейтрали $R_3 = 4$ Ом. При отсутствии повторного заземления (рис.3.2а), напряжение по отношению к земле в зануляющем проводнике у двигателя 2 равно 110 В и равномерно снижается от места замыкания к месту заземления нейтрали трансформатора, где оно близко к нулю.

При выполнении в конце линии у двигателя 2 повторного заземления нулевого провода (рис.3.2б) с сопротивлением $R_n = 10$ Ом ток замыкания $I_{\Sigma}=117$ А проходит не только по нулевому проводу, часть тока $I_n^{\parallel}=7,6$ А проходит параллельно через сопротивления R_n , землю и R_3 . Сопротивление цепи нулевого провода за счет повторного заземления снизится на 6,5%, а напряжение по отношению к земле в точке замыкания (двигатель 2) составит 76 В против 110 В без повторного заземления, а на заземлителе (баке) трансформатора 30 В (против 0) за счет падения напряжения на сопротивлении R_3 от втекающего тока I_{Σ}^{\parallel} .

Как видно из приведенного примера, существенное снижение напряжения прикосновения может быть достигнуто только при значительной токовой разгрузке нулевого провода, т.е. весьма малых сопротивлениях повторных заземлений по сравнению с сопротивлением нулевого проводника, что обычно не может быть осуществлено.

Например, чтобы достичь величины сопротивления заземлителя 1 Ом (величины сопротивления нулевого провода в вышеприведенном примере) в

4.3. Значения удельных сопротивлений грунтов для различных регионов Республики Беларусь

№ пп	Грунты	Удельное сопротивление, 0 м.ж												
		Значения, рекомендуемые для расчета заземлителей						Граничные значения						Усредненные значения для Р.Б.
		Минская обл.	Брестская обл.	Витебская обл.	Гомельская обл.	Гродненская обл.	Могилевская обл.	Минская обл.	Брестская обл.	Витебская обл.	Гомельская обл.	Гродненская обл.	Могилевская обл.	
1	Глины твердые и полутвердые с примесью гравия, песка, известняка	110	130	145	120	120	115	70-150	80-180	100-190	90-150	70-170	70-160	125
2	Глины мягкопластичные	100	85	105	105	110	100	70-140	60-110	60-150	70-140	70-150	60-140	105
3	Торфы насыщенные агрессивными водами	40	50	35	40	40	45	25-50	30-70	20-50	30-50	25-55	30-60	45
4	Суглинки твердые и полутвердые	155	135	225	155	160	185	110-200	100-170	150-300	120-190	110-210	120-250	200
5	Суглинки мягкопластичные	125	125	140	140	125	140	100-150	100-150	110-170	110-170	100-150	110-170	135
6	Супеси твердые	265	225	245	280	260	265	210-320	200-250	210-280	210-350	210-310	210-320	275
7	Супеси пластичные и текучие	155	160	175	160	160	160	120-190	130-190	150-200	120-200	120-200	130-190	160
8	Супеси насыщенные агрессивными водами	120	90	120	105	110	120	90-145	70-110	90-150	70-140	70-145	90-150	110
9	Пески маловлажные	7000	5000	2800	3750	4500	4000	4000-10000	2000-8000	600-5000	500-6000	1000-8000	2000-6000	5300
10	Пески влажные и насыщенные водой	470	355	425	405	475	500	390-550	310-400	300-550	310-500	350-600	390-600	450
11	Пески насыщенные агрессивными водами	310	400	280	390	400	305	220-400	250-550	210-350	240-540	250-550	210-400	380

земле с удельным сопротивлением 100 Ом·м необходимо уложить горизонтальный заземлитель длиной 100 м с 15 пятиметровыми электродами (более 100 кг прутка диаметром 10 мм, а в земле с $\rho=500$ Ом·м - горизонтальный заземлитель длиной 500 м с 70 электродами (более 750 кг стального прутка). Выбранный диапазон ρ является характерным для всех областей Республики Беларусь (см. таблицу 3.1.).

Другой путь токовой разгрузки нулевого провода это увеличение числа повторных заземлений нулевого провода по длине линии. Но и это решение не рационально, т.к. для снижения общего сопротивления R_n до 1 Ома в вышеприведенном примере придется их выполнить более 10, т.е. через каждые 100 м трассы линии.

При наличии на линии нескольких повторных заземлений и при возникновении замыкания, в местах их присоединения к нулевому проводу потенциал нуля несколько снижается, и линия потенциалов на рис. 3.2б приобретает ступенчатый характер. Положение точки с напряжением прикосновения равным нулю будет меняться в зависимости от числа, величины сопротивления и места повторных заземлений. При этом существенное дополнительное снижение напряжения прикосновения может быть достигнуто только при значительной токовой разгрузке нулевого провода, т.е. весьма малых сопротивлениях повторных заземлений по сравнению с сопротивлением нулевого проводника или большого их количества на линии, что обычно не может быть осуществлено.

Таким образом, увеличение числа повторных заземлений в этом смысле малоэффективно. Но выполнение повторных заземлений на концах воздушных линий считается полезным во всех случаях [2,3] и требуется по ПУЭ.

Повторные заземления нулевого провода и их число имеют большое значение при разрыве (обрыве) нулевого провода и сохранившихся фазных проводах, что, как правило, может наблюдаться только на воздушных линиях электропередачи. Например, при обрыве нулевого провода и замыкании одной фазы на корпус в схеме рис. 3.2а без

наличия повторного заземления (место обрыва условно показано значком v) корпуса двигателей 2 и 1 окажутся под фазным напряжением, т.е. 220 В. При наличии повторного заземления (рис.3.2б) аварийная цепь замыкается через сопротивление повторного заземления нулевого провода $R_n=10$ Ом, землю и сопротивление заземления нейтрали $R_z = 4$ Ом. При этом ток замыкания приближенно составит ($Z_f=0,968=1$ Ом, $Z_n=\infty$):

$$I_{кз} = \frac{220}{10 + 4 + 1} = 14,7 \text{ А}$$

и из-за малой величины не будет отключен защитой.

Корпуса электроприемников 2 и 1, как и всех зануленных приемников за местом обрыва нулевого провода по ходу передачи электроэнергии, длительно окажутся под напряжением по отношению к земле

$$U_n = I_{кз} \cdot R_n = 14,7 \cdot 10 = 147 \text{ В,}$$

что является опасным для жизни людей и животных. Такой режим хотя и маловероятен, т.к. он рассматривает наложение одной аварии (обрыв нуля) на другую (замыкание на корпус), но в принципе возможен.

Обычно обрыв нулевого провода вызывает ненормальный режим работы ламп и других однофазных электроприемников, что тот час обнаруживается, и неисправность должна устраняться в кратчайшее время.

При обрыве нулевого провода без замыкания на корпус образуется цепь: неравномерная нагрузка фаз – нулевой провод параллельно с магистралью заземления – повторное заземление – земля – нейтраль трансформатора (рис.3.3). На нуле и на всех зануленных корпусах, находящимися за местом обрыва, появятся напряжения, обусловленные протеканием тока неравномерной нагрузки. Величина напряжения равна падению напряжения на сопротивлении повторного заземления, которое оказывается включенным последовательно с сопротивлением неравномерной

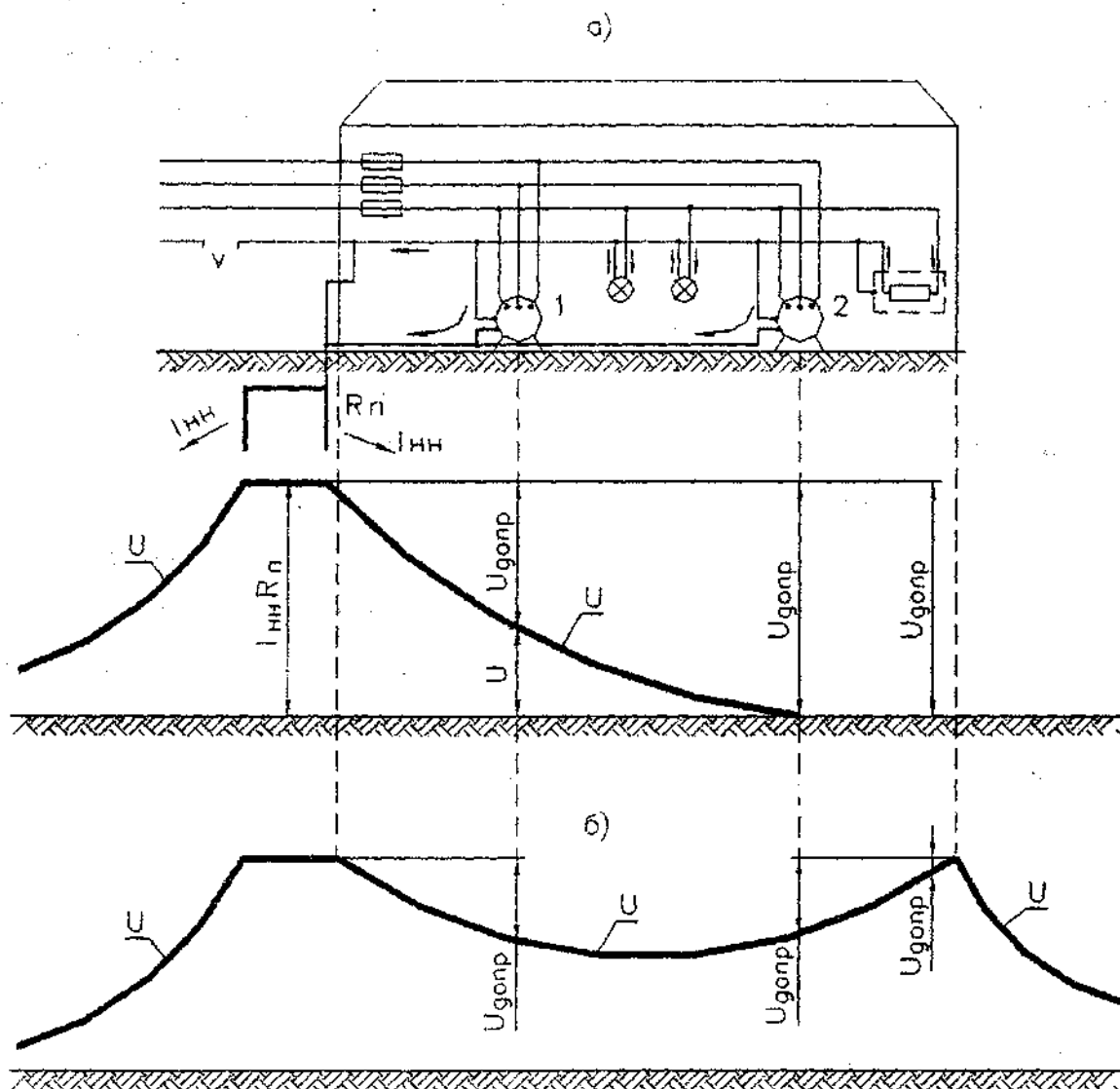


Рис. 3.3. Распределение потенциала по поверхности земли при обрыве нулевого провода: а) без выравнивания потенциала; б) при выравнивании потенциала

- $I_{нн}$ - ток неравномерной (несимметричной) нагрузки
- U - потенциал поверхности земли при стекании тока $I_{нн}$ на разном удалении от заземлителя
- $U_{допр}$ - напряжение до прикосновения
- v - место разрыва (обрыва) нулевого провода

нагрузки (на рис.3.3 сопротивление ламп освещения и обогревателя). Напряжения по отношению к земле зависят от соотношения сопротивлений нагрузки и повторного заземления. Естественно, они будут меньше, чем при к.з. на корпус, но могут достигать опасных величин. Нулевой провод вследствие неравномерной нагрузки фаз может иметь и в нормальном эксплуатационном режиме на отдельных участках некоторый потенциал по отношению к земле. Поэтому для достижения электробезопасности выполнение только повторных заземлений не всегда достаточно, что отчетливо видно из рис.3.3а, т.к. напряжения прикосновения остаются высокими. Наиболее эффективным средством по снижению напряжения прикосновения является выравнивание потенциалов, т.е. приближение потенциалов земли вокруг оборудования к потенциалу зануленного корпуса. Если с повторным заземлением на рис.3.3а соединить железобетонный фундамент здания, то благодаря взаимному влиянию электропроводящих сторон фундамента потенциал внутри здания (фундамента) распределится значительно равномернее, вследствие чего резко уменьшаются напряжения прикосновения (рис.3.3б) и обеспечивается электробезопасность.

На практике для выравнивания и уравнивания потенциалов соединяют все возможные естественные и искусственные заземлители (строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования, подкрановые и железнодорожные рельсовые пути и т.п., см. п.1.7.47 ПУЭ-85) в единую систему, а иногда под ноги обслуживающего персонала или ноги животных укладывают специальные потенциаловыравнивающие проводники. При этом, чем меньше заглублены эти проводники, тем выше эффект выравнивания потенциалов и меньшие напряжения прикосновения.

Например, при укладке одиночного потенциаловыравнивающего полосового заземлителя на глубине 0,3 м

напряжение прикосновения над ним снижается в 1,6+2,5 раза [12], а при заглублении на 0,7 м эффект выравнивания потенциалов практически отсутствует. Поэтому специально укладываемые потенциаловыравнивающие проводники следует заглублять в землю на 10 см, чтобы они не мешали обслуживать оборудование, и по кратчайшему пути электрически соединять с этим оборудованием.

4. Особенности выполнения заземлителей в сетях 0,38-10 кВ

4.1. Выбор сечения заземлителя.

Сопротивление одного вертикального электрода, нижний конец которого находится ниже уровня земли, определяется по выражению [2]:

$$R_B = \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) \text{Ом}, \quad (4.1)$$

где ρ - удельное сопротивление однородной земли, Ом·м;

l - длина вертикального заземлителя (электрода), м (в расчетах примем $l=5$ м);

d - внешний диаметр электрода, м;

t - глубина заложения равная расстоянию от поверхности земли до середины электрода, м (в расчетах примем $t = 0,7+2,5=3,2$ м).

Для определения влияния диаметра электрода на величину его сопротивления, выполнены расчеты по формуле (4.1) для нескольких диаметров и приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Диаметр электрода, мм	$R_{в.}$, Ом	Масса электрода, кг	Увеличение расхода стали, раз	Снижение сопротивления, %
10	0,233ρ	3,08	-	-
12	0,227 ρ	4,44	1,44	2,57
16	0,218 ρ	7,84	2,55	6,43
24	0,205 ρ	17,76	5,77	12,0
100	0,16 ρ	308	100	31,3

Как видно из таблицы 4.1 увеличение диаметра в 1,2 раза снижает сопротивление на 2,6%, а расход стали увеличивает почти в 1,5 раза, при увеличении диаметра в 10 раз сопротивление снижается на 31%, а расход стали увеличивается в 100 раз. Тоже относится и к горизонтальному заземлителю, сопротивление которого определяется [2]:

$$R_{Г} = \frac{0,366\rho}{l} \lg \frac{l^2}{dt}, \text{ Ом} \quad (4.2)$$

где l - длина горизонтального заземлителя, м;

d - диаметр проводника заземлителя, м;

t - глубина заложения заземлителя, м.

Как видно из приведенных расчетов с целью снижения сопротивления увеличивать диаметр (сечение) заземлителя не только бесполезно, но и вредно, т.к. это ведет лишь к перерасходу стали, практически не снижая сопротивления заземлителя.

Диаметр (сечение) вертикальных и горизонтальных заземлителей выбирается по механической прочности, коррозионной, а в электроустановках 6-10 кВ горизонтальные заземлители и по термической стойкости. Всем этим критериям в сетях 0,38-10 кВ соответствуют размеры стальных искусственных заземлителей, регламентированных п.1.7.72 ПУЭ-85:

Диаметр круглых (прутковых) заземлителей, мм:	
неоцинкованных	10
оцинкованных	6
сечение прямоугольных заземлителей, мм ²	48
толщина прямоугольных заземлителей, мм	4

Применение больших сечений заземлителей приводит только к повышенному расходу стали, не изменяя других его характеристик.

4.2. Выбор конфигурации заземлителя и расстояния между вертикальными электродами в заземлителе.

Обычно заземлители состоят из нескольких, а в земле с высоким удельным сопротивлением из большого числа электродов, объединенных полосой или круглой сталью. Только в том случае, если расстояние между электродами очень велико их сопротивление будет мало зависеть от влияния соседних электродов и иметь минимальное значение. В реальных условиях электроды располагаются более близко друг к другу, и как следствие, возникает взаимное влияние их электрических полей друг на друга при растекании тока с заземлителя. Вследствие наложения полей происходит как бы уменьшение действующего сечения земли около электродов (полос) и увеличение его сопротивления растеканию тока (рис.4.1).

Чем больше число электродов в заземлителе и чем меньше расстояние между ними, тем сильнее сказывается взаимное влияние электродов друг на друга. Это влияние оценивается коэффициентом использования заземлителя:

$$\eta = \frac{R_0}{R_3 \cdot n}, \quad (4.1)$$

где R_0 – сопротивление отдельного электрода (полосы) без учета взаимного влияния,

R_3 – сопротивление заземлителя в целом,

n – число электродов (полос).

η – всегда меньше единицы, а сопротивление заземлителя в целом, всегда больше чем общее сопротивление отдельных заземлителей сложенных параллельно:

$$R_3 = \frac{R_0}{n \cdot \eta}. \quad (4.2)$$

Как влияет близость элементов заземлителя на общее сопротивление заземлителя видно из таблиц 4.1 и 4.2 [2].

Таблица 4.1.

Коэффициент использования вертикальных электродов, размещенных в ряд без учета влияния полосы связи

Отношения расстояния между вертикальными электродами a к их длине l , a/l	Число электродов n , шт.	Коэффициент использования η
1	2	0,84-0,87
	5	0,67-0,72
	15	0,51-0,56
2	2	0,9-0,92
	5	0,79-0,83
	15	0,66-0,73
3	2	0,93-0,95
	5	0,85-0,88
	15	0,76-0,8

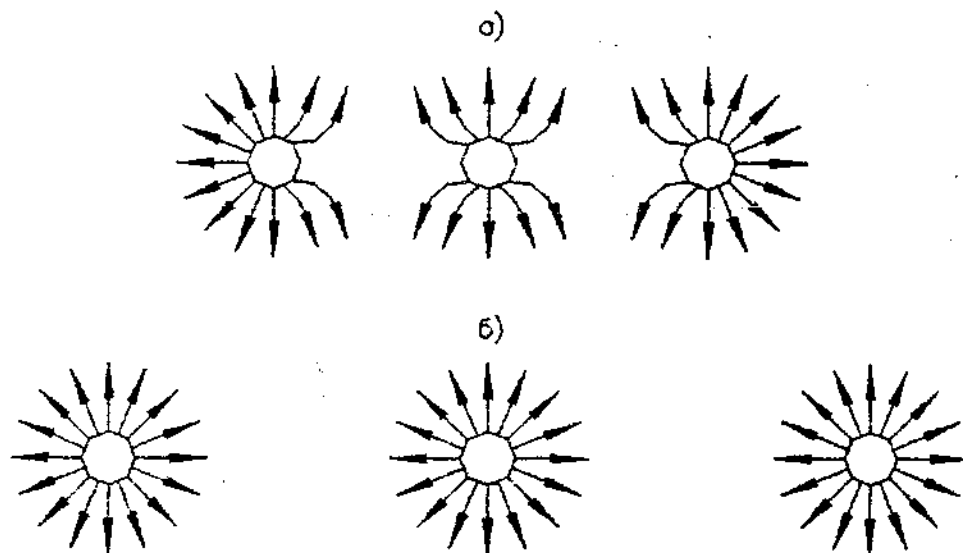


Рис. 4.1. Распределение линий тока с параллельно включенных электродов при близком (а) их расположении друг к другу и далеком (б)

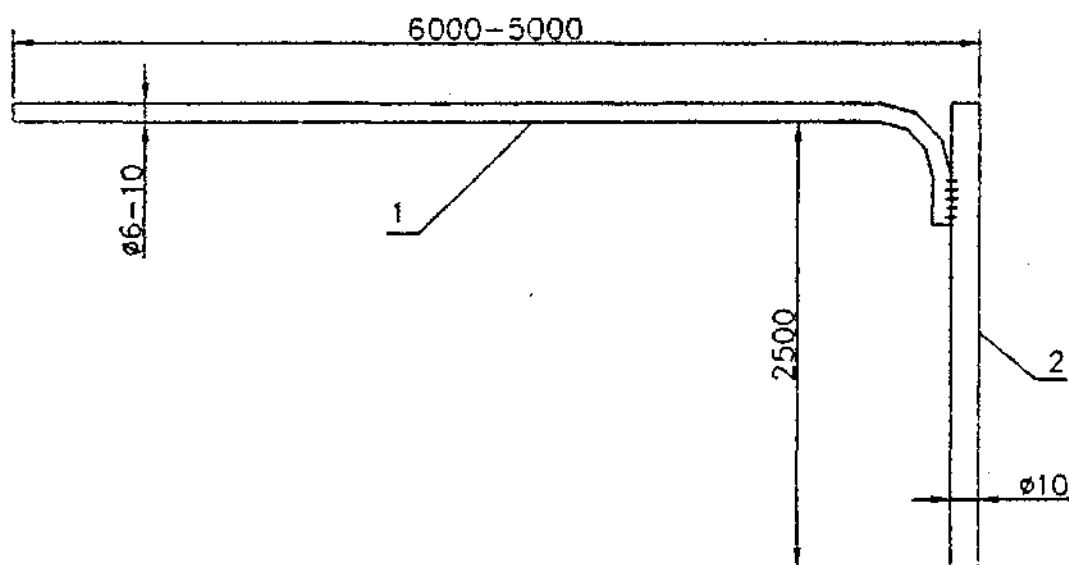


Рис. 4.2. Рекондуемые размеры основного (базового) элемента, из которых выполняются заземлители опор ВЛ и трансформаторных подстанций напряжением 10/0,4 кВ.

- 1 - горизонтальный заземлитель (для оцинкованной стали, диаметр прутка не менее 6 мм, для неоцинкованной - 10 мм)
- 2 - вертикальный заземлитель (элеткрод)

Таблица 4.2.

Коэффициент использования параллельно уложенных полос на глубине 0,3-0,8 м (ширина полосы 20-40 мм, прутка из круглой стали диаметром 10-20 мм)

Длина каждой полосы, м	Число параллельных полос, n	Расстояние между полосами, м		
		1	5	15
15	10	0,25	0,49	0,72
	2	0,55	0,75	0,85

Как видно из таблиц 4.1 и 4.2 при близком расположении друг к другу горизонтальные заземлители используются на 25 - 75%, а вертикальные электроды – на 50 - 70%. Это значит, что при одном и том же расходе металла можно получить сопротивление заземлителя в 2 + 4 раза меньшее, если горизонтальные и вертикальные заземлители правильно расположить в земле. Другими словами, одно и тоже сопротивление заземлителя можно получить при меньшем в 2 + 4 раза расходе металла только за счет его грамотного выполнения.

Поэтому расстояние между вертикальными электродами в заземлителе должно быть, как минимум, в 2 раза больше их длины (рис.4.2), а при лучевом заземлителе лучи следует располагать под равными углами от центра, и их не должно быть больше четырех. В противном случае сталь используется неэффективно, а заземлитель не экономичен.

Следует помнить, что вертикальный электрод забитый рядом с железобетонной стойкой опоры не снижает сопротивления заземлителя, т.к он полностью экранируется подземной частью стойки, а лишь увеличивает непродуктивный расход стали.

В связи с изложенным рекомендуются следующие схемы расположения заземлителя в земле: одно-, двух-, трех и четырех лучевая (рис.4.3).

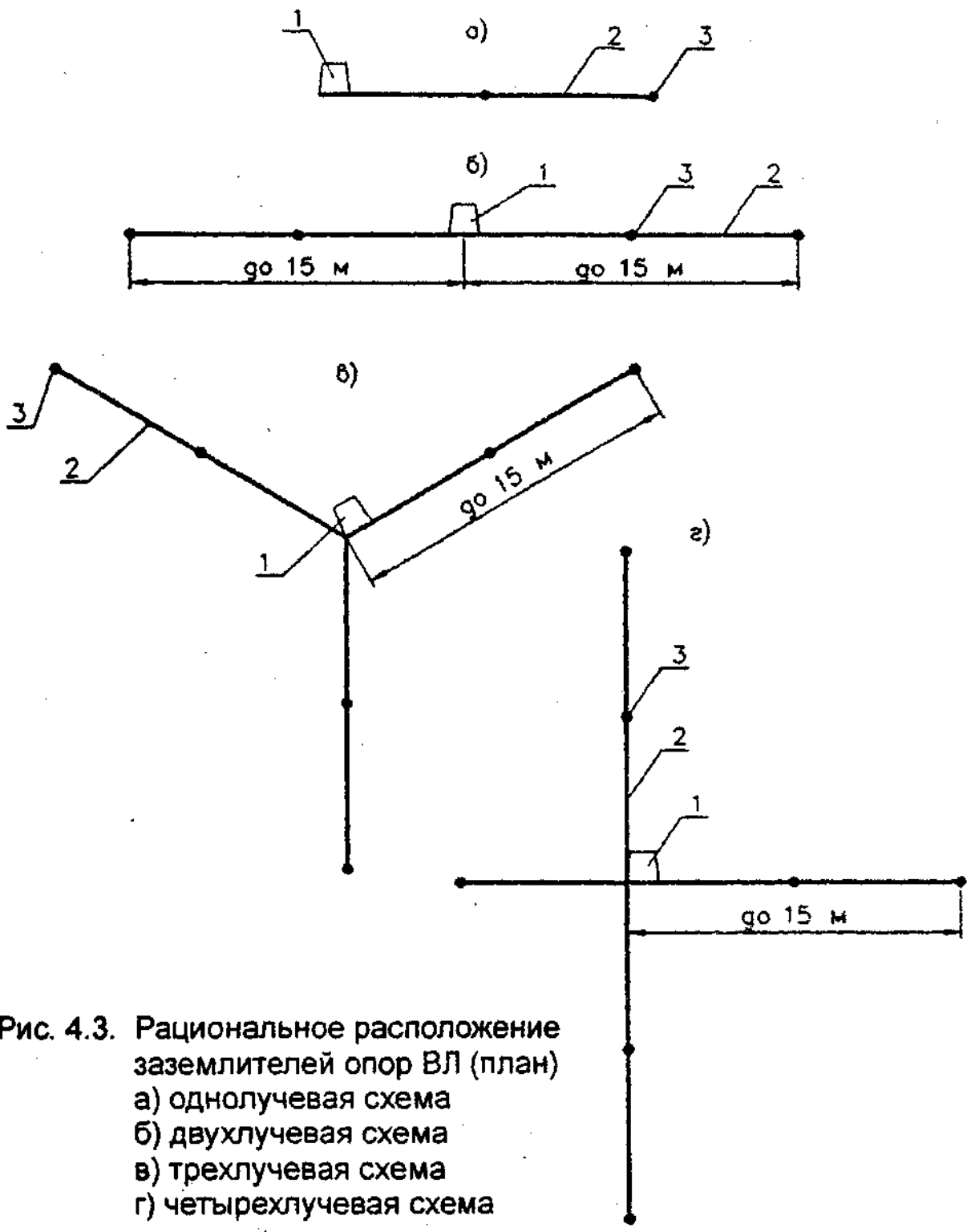


Рис. 4.3. Рациональное расположение заземлителей опор ВЛ (план)
 а) однолучевая схема
 б) двухлучевая схема
 в) трехлучевая схема
 г) четырехлучевая схема

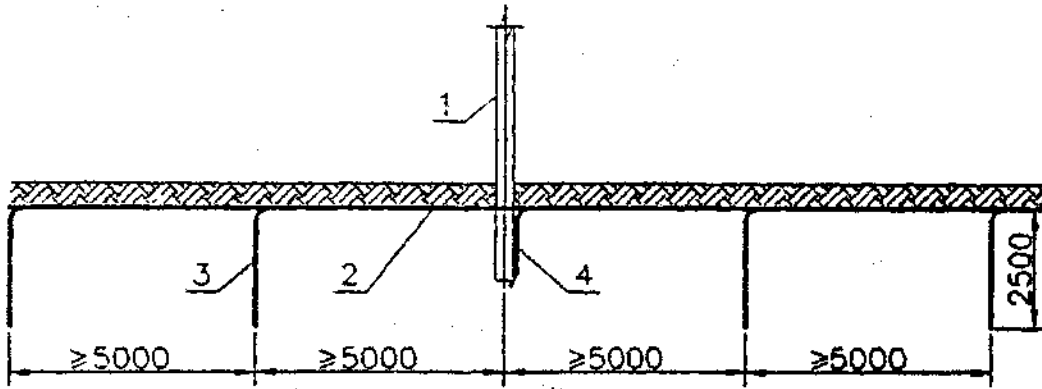
- 1 - стойка опоры
- 2 - горизонтальный заземлитель
- 3 - вертикальный заземлитель

С целью унификации и технологичности выполнения заземлителей опор ВЛ 0,38 и 10 кВ, а также трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ в заводских условиях могут выполняться основные (базовые) элементы, из которых сооружаются заземлители опор ВЛ и трансформаторных подстанций (ТП) в полевых условиях. Базовый элемент состоит из горизонтального заземлителя с вертикальным заземлителем (электродом) на конце (рис.4.2). Длину горизонтального и вертикального заземлителей рекомендуется принимать как указано на рис. 4.2. Это обеспечит достаточно эффективное стекание тока (импульсного и промышленной частоты) с таких элементов при минимуме расхода металла. Исходя из возможности строительных организаций простыми приемами погружать вертикальные электроды и глубины промерзания земли зимой и высыхания летом на территории Республики Беларусь рекомендуется два вида базового элемента.

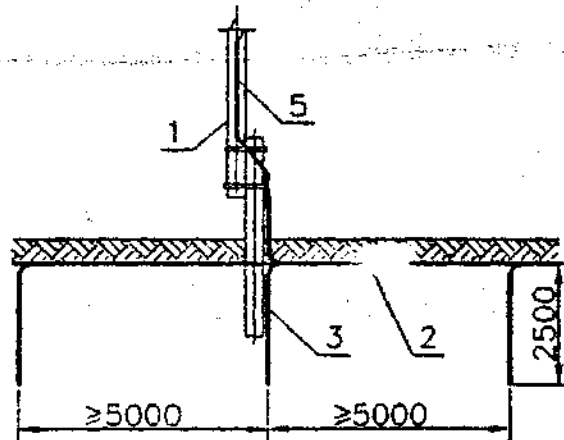
Первый вид: горизонтальный и вертикальный заземлители выполняются из круглой неоцинкованной стали диаметром 10 мм, второй вид: горизонтальный заземлитель – из круглой оцинкованной стали диаметром 6 мм и вертикальный – из круглой неоцинкованной стали диаметром 10 мм. Длина горизонтального заземлителя 5 м и более, а вертикального заземлителя, как правило, 2,5 м. Там, где не затруднено погружение электродов в грунт, а удельное сопротивление земли снижается с увеличением глубины, их длину можно увеличить до 5 м.

Для подавляющего большинства регионов РБ (исключая агрессивные грунты) срок службы таких заземлителей составляет более 50 лет. Диаметр прутка через 52 года работы в земле уменьшится на 2 мм. Наиболее ослабленным местом является переход «воздух-земля», где в наибольшей степени происходит коррозия металла и где должен производиться контроль состояния заземлителя путем раскопки на глубину до 0,3 м в объемах и в сроки, оговоренные [6].

Железобетонные одностоечные опоры



Деревянные одностоечные опоры и опоры с подкосом



Железобетонные опоры с подкосом

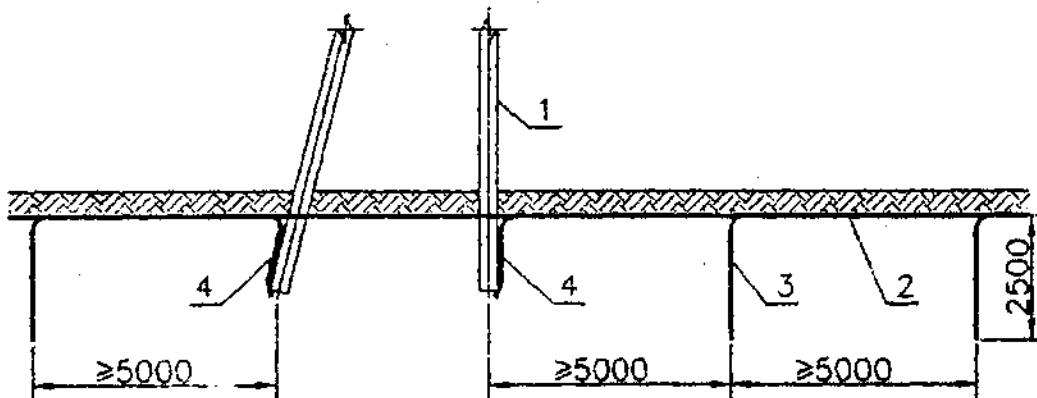


Рис. 4.4. Схема выполнения заземлителей опор ВЛ

- 1 - стойка опоры
- 2 - горизонтальный заземлитель
- 3 - вертикальный заземлитель (электрод)
- 4 - заземляющий проводник (выпуск опоры)
- 5 - заземляющий проводник (спуск)

Наиболее рациональное расположение заземлителей в земле, обладающих наименьшим сопротивлением растеканию при минимуме расхода стали на их выполнение, для опор ВЛ 0,38 кВ и 10 кВ указан на рис. 4.3, а схема соединения с заземляющим проводником (спуском, выпуском) на рис. 4.4. Конструктивное выполнение заземляющих проводников приведено в [7].

Длину лучей отходящих по разным направлениям от стойки опоры следует выбирать по возможности одинаковой и не более 15 м, так как при большей их длине резко возрастает импульсное сопротивление и снижается эффективность грозозащитных функций заземлителя.

Заземляющее устройство трансформаторных подстанций: комплектных (КТП), мачтовых (МТП) и закрытых (ЗТП), выполняется общим для напряжений 10 и 0,4 кВ.

При выполнении заземляющего устройства трансформаторных подстанций (КТП, МТП, ЗТП) в первую очередь выполняется обязательный заземлитель. Обязательный (совмещенный) заземлитель подстанций типа КТП и МТП состоит из замкнутых контуров, проложенных вокруг площадки занимаемой электрооборудованием подстанции на расстоянии 0,8-1 м от оборудования (п.1.7.59 ПУЭ-85), и горизонтальных связей со всеми концевыми опорами ВЛ 10 и 0,38 кВ, которые выполняют роль естественных заземлителей. Кроме того, в двух углах контура подстанции типа КТП (со стороны разъединителя) забивается по одному вертикальному заземлителю длиной по 2,5 м для выравнивания потенциала на поверхности земли у разъединителя и снижения импульсного сопротивления заземлителя. Укладывать контурную часть заземлителя следует на глубине 0,5 м (так требует ПУЭ), но не глубже. Эффект выравнивания потенциалов по поверхности земли достаточно высок при расположении заземлителя не глубже 0,1 - 0,2 м. При большей глубине эффект выравнивания резко снижается и, как показывают теоретические исследования и многочисленные

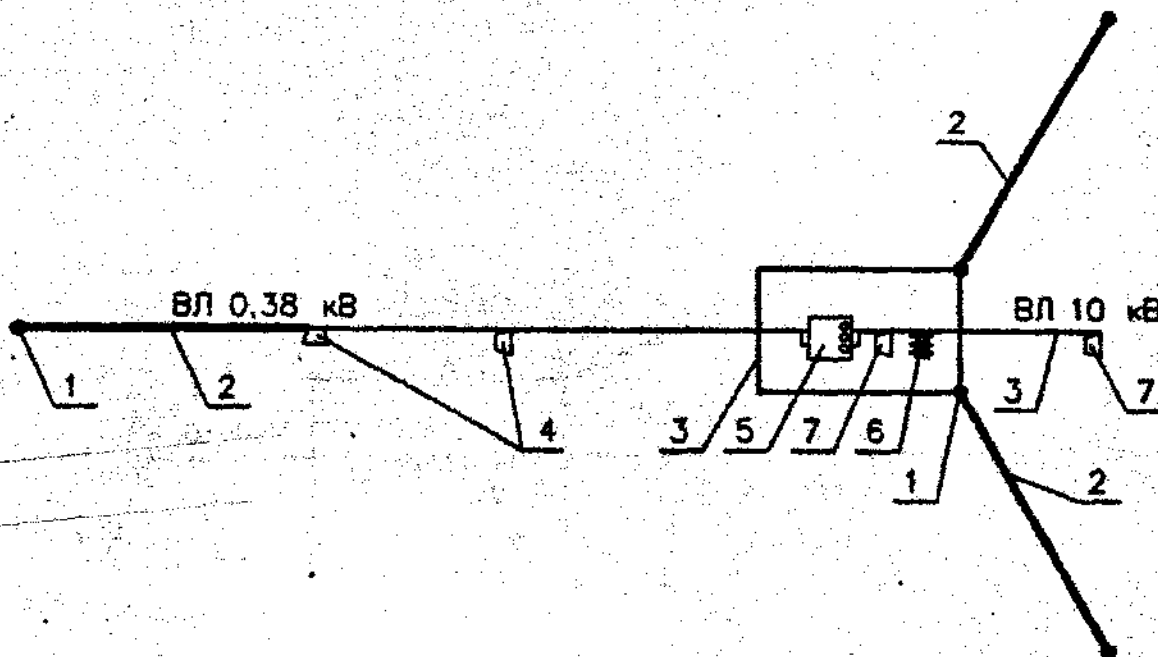


Рис. 4.5. Заземляющее устройство КТП 10/0,4 кВ при одной отходящей ВЛ 0,38 кВ

- 1 - вертикальный заземлитель
- 2 - горизонтальный заземлитель
- 3 - горизонтальный заземлитель (обязательный), глубина укладки 0,5 м
- 4 - конечная опора ВЛ 0,38 кВ
- 5 - трансформатор
- 6 - разъединитель
- 7 - конечная опора ВЛ 10 кВ

- - обязательный (совмещенный) заземлитель
- - дополнительный заземлитель

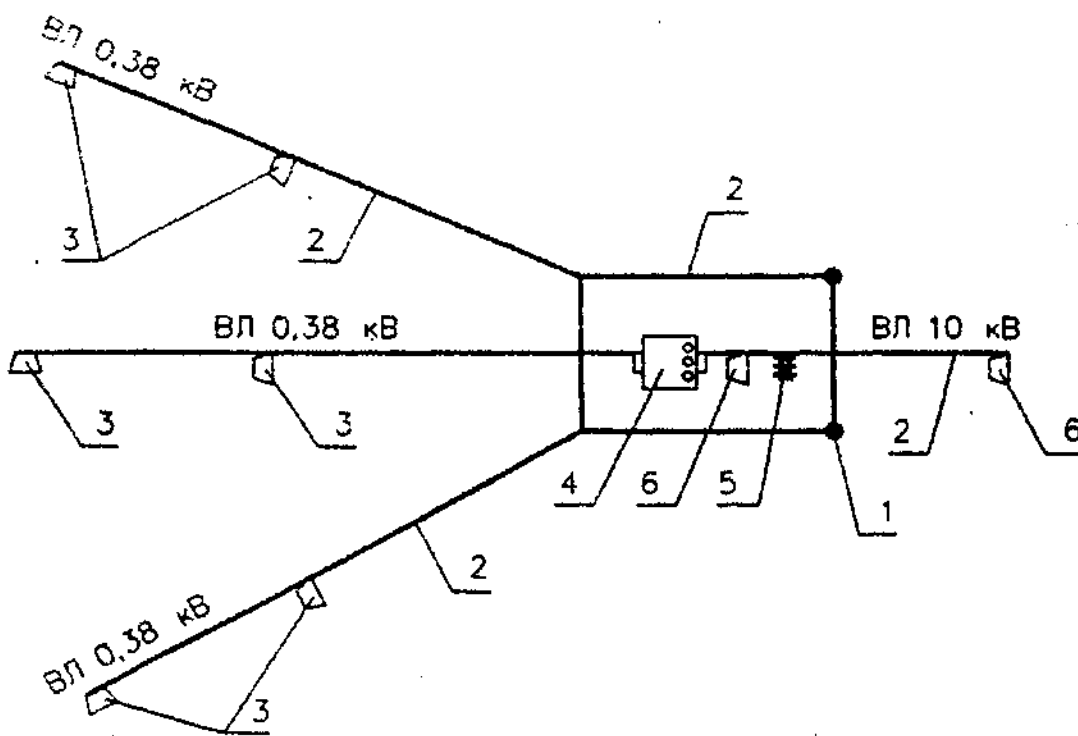


Рис. 4.6. Заземляющее устройство КТП 10/0,4 кВ при трех отходящей ВЛ 0,38 кВ

- 1 - вертикальный заземлитель
- 2 - горизонтальный заземлитель (обязательный), глубина укладки 0,5 м
- 3 - конечная опора ВЛ 0,38 кВ
- 4 - трансформатор
- 5 - разъединитель
- 6 - конечная опора ВЛ 10 кВ

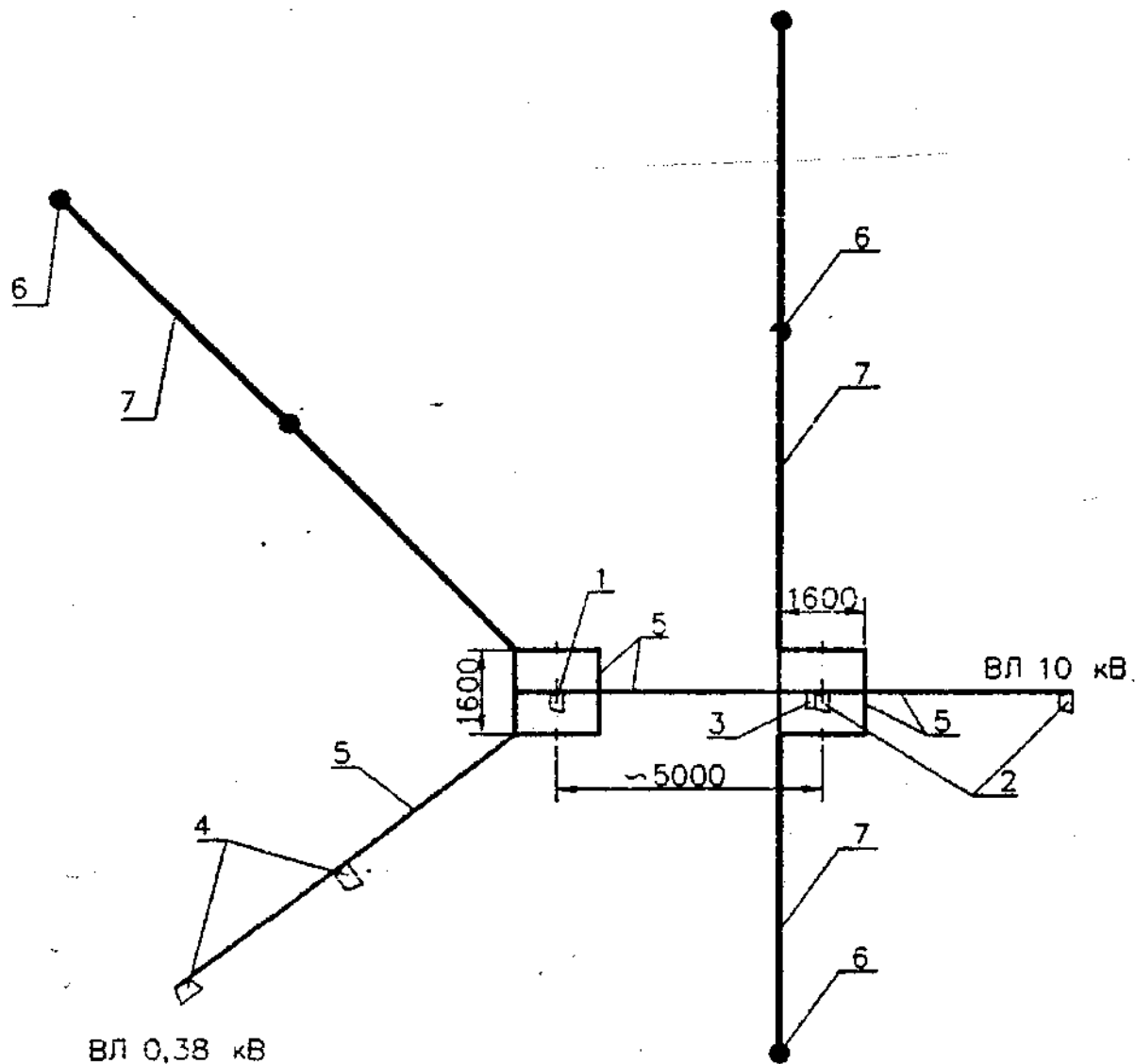


Рис. 4.7. Заземляющее устройство мачтовой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ

- 1 - стойка мачтовой ТП 10/0,4 кВ
- 2 - концевая опора ВЛ 10 кВ
- 3 - привод разъединителя
- 4 - концевая опора ВЛ 0,38 кВ
- 5 - горизонтальный заземлитель (обязательный), глубина укладки 0,5 м
- 6 - вертикальный заземлитель
- 7 - горизонтальный заземлитель

————— - обязательный (совмещенный) заземлитель
 ●————— - дополнительный заземлитель

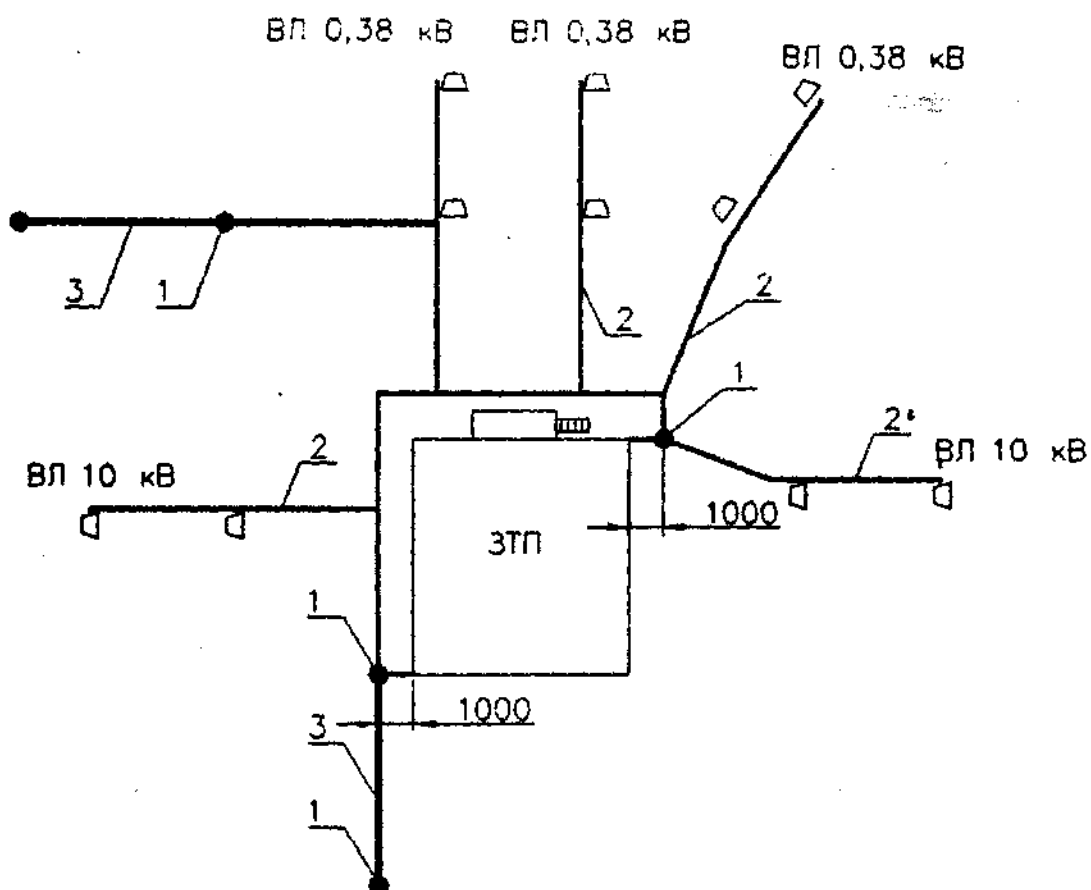


Рис. 4.9. Наружный заземлитель закрытой трансформаторной подстанции (пример выполнения)

1 - вертикальный заземлитель

2 - горизонтальный заземлитель (обязательный)

3 - горизонтальный заземлитель (дополнительный)

————— - обязательный (совмещенный) заземлитель

————— - дополнительный заземлитель

измерения [12]. если заземлитель уложен глубже 0,5 м эффект выравнивания практически не ощущается. В качестве элементов заземлителя следует использовать неоцинкованную сталь круглую диаметром 10 мм (оцинкованную диаметром 6 мм) или полосовую 4x12 мм. Больших сечений не требуется ни по нормам ПУЭ, ни по токовым нагрузкам, ни по условиям коррозии (редкое исключение составляют агрессивные грунты, для которых выполняются специальные расчеты).

Если нормируемое сопротивление не обеспечивается обязательным заземлителем, сооружается дополнительный заземлитель, путем укладки лучей с электродами или без них аналогично укладываемым на ВЛ 0,38 и 10 кВ. Примеры выполнения заземляющих устройств трансформаторных подстанций типа КТП и МТП приведены на рис. 4.5 + 4.7.

Заземляющее устройство ЗТП состоит из заземления внутри здания ЗТП и наружного заземлителя. Внутри здания для магистрали заземления используются все опорные металлоконструкции. Для этой цели все опорные металлоконструкции в местах стыков и в торцах должны быть соединены электросваркой между собой полосовой или круглой сталью. Пример выполнения внутреннего заземления приведен на рис. 4.8.

Наружный заземлитель ЗТП аналогично заземляющим устройствам КТП и МТП состоит из обязательного (совмещенного) и, при необходимости, дополнительного заземлителей. Обязательный (совмещенный) заземлитель выполняется путем использования всех концевых опор ВЛ 0,38 и 10 кВ, дополнительный – путем укладки лучей с вертикальными электродами или без них. Кроме того, в обязательный заземлитель входят два вертикальных заземлителя длиной по 2,5 м, забиваемые на расстоянии 1 м от стены здания у ступок от молниеприемника для снижения импульсного сопротивления заземлителя.

Связь внутреннего и наружного заземлений осуществляется в двух местах с противоположных сторон здания ЗТП. Пример выполнения наружного заземлителя приведен на рис. 4.9.

5. Практические рекомендации.

1. Повторное заземление нулевого провода не обеспечивает защиту от поражения электрическим током и должно применяться в сочетании с другими защитными мерами (быстрое отключение короткого замыкания, зануление, выравнивание и уравнивание потенциалов и т.д.).

2. Увеличивать количество повторных заземлений на линии с целью снижения потенциала нулевого провода до безопасной величины малоэффективно с точки зрения обеспечения электробезопасности, а понесенные при этом затраты несоизмеримы с результирующим эффектом. Поэтому повторные заземления нулевого провода должны выполняться в соответствии с требованиями п.1.7.63 ПУЭ-85 на концах ВЛ (или ответвлений от них) длиной более 200 м, а также на вводах от ВЛ к электроустановкам, которые подлежат занулению. Допустимые сопротивления повторных заземлений нулевого провода приведены в [7].

Следует иметь в виду, что функции повторных заземлений нулевого провода выполняют грозозащитные заземления (п. 1.7.46 ПУЭ-85), которые распределены вдоль ВЛ 0,38 кВ через каждые 120 м [7].

3. Мнения о том, что напряжения прикосновения (потенциал нулевого провода) следует снижать до безопасного путем уменьшения сопротивления повторных заземлений, ошибочны. Чтобы выполнить заземлитель с сопротивлением порядка 1 Ом в характерных для РБ грунтах, с удельным сопротивлением земли $100 + 500$ Ом·м, требуется территория для его устройства в несколько сотен квадратных метров и от 100 до 750 кг стали.

4. Наиболее эффективным средством снижения напряжения прикосновения до безопасной величины является выравнивание потенциалов путем соединения всех естественных и искусственных заземлителей (строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического

оборудования и т.п.) в единую систему в пределах электроустановки, а также укладка специальных потенциаловывравнивающих проводников.

5. При укладке горизонтальных заземлителей вокруг открыто установленного оборудования (трансформаторные подстанции, разъединители и т.п.) не следует их укладывать на глубине более 0,5 м, т.к. уже при этом (нормированном ПУЭ) заглублении эффект выравнивания потенциалов (снижение напряжения прикосновения) ощущается очень слабо.

Для локального снижения напряжения прикосновения, например, у разъединителя, можно использовать дополнительный потенциаловывравнивающий заземлитель (горизонтальный или вертикальный), верхняя часть которого заглублена не более чем на 10 см.

6. Для повышения условий электробезопасности сечение нулевого провода магистральной линии и ответвлений от нее должно быть не менее сечения фазных проводов, чтобы при коротких замыканиях снизить потенциал на открытых проводящих частях (корпусах электродвигателей, шкафов и т.п.). Чем больше сечение нулевого провода относительно фазных проводов тем ниже его потенциал и напряжения прикосновения к нему и зануленному оборудованию.

Для особых по обеспечению безопасности потребителей, где напряжения прикосновения и шага должны быть очень низкими, например для крупных животноводческих ферм, сечение нулевого провода следует выбирать в несколько раз больше сечения фазных проводов. Учитывая близость расположения подстанции (ТП) от помещений фермы существенное увеличение сечения нулевого провода практически не отразится на общей стоимости электроснабжения, а эффект по обеспечению электробезопасности будет несоизмеримо большим по сравнению с уменьшением сопротивления повторного заземления.

7. При выполнении заземлителей опор ВЛ, распределительных пунктов, трансформаторных подстанций, ОПН, разъединителей и другого

оборудования в сетях 0,38-10 кВ рекомендуется руководствоваться следующим:

7.1. Не следует укладывать в землю сталь круглую диаметром более 10 мм, а полосу сечением более 4x12 мм. Диаметр вертикального заземлителя также не должен превышать 10 мм. Срок службы такого заземлителя в неагрессивных грунтах более 50 лет, а сечение и диаметр практически не влияют на сопротивление растеканию тока с заземлителя.

7.2. В котлован, в который устанавливаются железобетонные стойки опор ВЛ и фундаменты трансформаторов не следует забивать вертикальные электроды, т.к. они экранируются этими фундаментами и практически не участвуют в отводе тока в землю.

7.3. В сложных опорах в качестве заземляющих проводников всегда следует использовать арматуру стоек опор и арматуру подкоса, чтобы снизить волновое сопротивление заземляющих проводников импульсным токам и одновременно всего заземляющего устройства.

7.4. В заземлителе состоящем из горизонтальных и вертикальных заземлителей, расстояние α между вертикальными заземлителями должно, как минимум, в два раза превышать длину вертикального заземлителя l (электрода), т.е. $\alpha/l \geq 2$.

7.5. Наиболее эффективным по отводу тока промышленной частоты заземлителем является однолучевой заземлитель с вертикальными заземлителями или без них, однако длину луча не рекомендуется делать более 15 м, т.к. при большей длине резко возрастает импульсное сопротивление и снижается эффективность грозозащитных функций такого заземлителя.

7.6. При многолучевом заземлителе количество лучей отходящих от опоры не должно превышать четырех, а углы между лучами должны быть одинаковыми.

7.7. Для снижения сопротивления заземляющего устройства (заземлителя) не следует поливать его водой, а тем более растворами солей, посыпать солью, минеральными удобрениями и прочими препаратами, так как такие мероприятия приводят лишь к ускоренной коррозии стали и быстрому выходу заземляющего устройства из строя, необоснованным материальным затратам и, самое главное, не снижают сопротивление заземляющего устройства.

8. Выполняя рекомендации п.7, без снижения надежности и долговечности заземлителя, обеспечивая нормируемые нормативно-техническими документами сопротивления при улучшенных импульсных характеристиках, можно уменьшить расход стали на сооружение заземлителя, как минимум, в 2 + 4 раза.

9. С целью сокращения расхода стали на выполнение заземляющих устройств, следует более эффективно использовать металлоконструкции и арматуру железобетонных стоек в качестве заземляющих проводников, как это рекомендовано в работе [7].

10. Важную роль в экономном расходовании металла на устройство заземляющих устройств играет правильное измерение его сопротивления. В практике монтажа заземляющих устройств не редки случаи, когда из-за неграмотного измерения получают завышенные по сравнению с фактическими значения сопротивлений, и безрезультатно пытаются его снизить путем дополнительного забивания стержней или укладки полос.

Список использованных источников

1. Федоров А.А., Князевский Б.А. Электроснабжение промышленных предприятий. Госэнергоиздат, М.Л. 1951.
2. Найфельд М.Р. Заземление, защитные меры электробезопасности. «Энергия», М. 1971.
3. Найфельд М.Р. Заземление и другие защитные меры. «Энергия». М., 1975.
4. Правила устройства электроустановок, шестое издание, 1985г с изменениями и дополнениями, вышедшими до 30.12.1997г. (ПУЭ-85).
5. ГОСТ 30331.3-95 (МЭК 364-4-41-92). Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.
6. Нормы и объемы испытаний электрооборудования в Республике Беларусь. Мн., 2000.
7. Заземления на линиях электропередачи напряжением 0,38-10 кВ и трансформаторных подстанциях напряжением 10/0,4 кВ. Концерн «Белэнерго», ГП Белэнергосетьпроект, Арх. № 15256тм, Мн., 1999.
8. Харченко В.Н. Рекомендации по электроснабжению индивидуальных жилых домов, коттеджей, дачных (садовых) домов и других частных сооружений, М., 1999.
9. Корякин Р.Н. Нормы устройства сетей заземления. М., 1999.
10. Баптиданов Л.Н., Тарасов В.И. Электрические станции и подстанции. М., «Энергия», 1969.
11. Аваев С.А., Гартунг С.В., Шмелев А.Н. Подстанции, сети и освещение предприятий легкой промышленности, М., ГИЗЛЕГПРОМ, 1956.

12. Гончарик Е.П. Снижение напряжений прикосновения на подстанциях 110 кВ. Энергетика и электрификация. Экспресс-информация. Серия «Сооружение линий электропередачи и подстанций», выпуск 12, М., 1988.
13. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновений и токов.
14. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
15. ГОСТ 30331.1-95 (МЭК 364-1-72, МЭК 364-2-70). Электроустановки зданий. Основные положения.
16. ГОСТ 30331.2-95 (МЭК 364-3-93). Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики.

Белорусский государственный энергетический концерн

Гончарик Е.П., Киселев В.В., Ямный О.Е.

**Пособие
по измерениям сопротивления
заземляющих
устройств в сетях 0,38-10 кВ**

Минск, 2001 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Сопротивление растеканию тока или сопротивление заземлителя и общие представления об его измерении.....	67
2. Принцип измерения сопротивления заземлителей (заземляющих устройств).....	73
3. Порядок производства измерений.....	79
4. Устройство токового электрода	86
5. Определение сопротивления по результатам измерений.....	87
6. Измерение сопротивления заземляющих устройств (заземлителей) малых размеров.....	90
7. Сопоставление измеренных значений сопротивления с нормами ПУЭ	92
8. Оформление результатов измерений и необходимые документы на заземляющее устройство.....	101
9. Особенности измерения сопротивления заземлителей, к которым подсоединены оболочка и броня кабелей.....	105
10. Приборы для измерения сопротивления заземляющих устройств.....	107
11. Требования техники безопасности.....	111
Список использованных источников.....	113

1. Сопротивление растеканию тока или сопротивление заземлителя и общие представления об его измерении

При подаче напряжения на заземлитель ток в земле растекается во все стороны от заземлителя, т.е. протекание тока в земле носит объемный характер. Рассмотрим прохождение тока между двумя вертикальными заземлителями (стержнями) А и В, находящимися на достаточно большом расстоянии друг от друга (рис. 1.1). Для простоты восприятия примем, что земля однородная; в неоднородной земле симметрия растекания изменится, но принцип растекания остается таким же.

Пунктирными линиями показаны пути растекания тока в земле. Вблизи заземлителей плотность тока наибольшая, так как здесь ток проходит по малому сечению. По мере удаления от заземлителей плотность тока постепенно уменьшается ввиду того, что ток растекается по все большему объему земли. На расстоянии 20-30 м от единичного заземлителя (стержня длиной 2-3 м) ток в земле растекается по столь большому объему, что его плотность на этом расстоянии можно считать равной нулю.

Таким образом, сопротивление растеканию тока одиночного заземлителя практически сосредоточено в радиусе 20-30 м от места входа или выхода тока (рис.1.1). Поэтому те точки земли, которые находятся на расстоянии 30 м и более от одиночных заземлителей А и В, практически будут иметь потенциал, равный нулю, т.е. будут являться землей в электрическом смысле слова (зона нулевого потенциала).

При больших (сложных) заземлителях указанные расстояния будут значительно больше 30 м и доходить до нескольких сот и даже тысяч метров.

Поэтому в общем случае зоной нулевого потенциала называют те точки земли, которые лежат вне зоны растекания тока, и потенциал которых настолько мал, что его можно принять равным нулю.

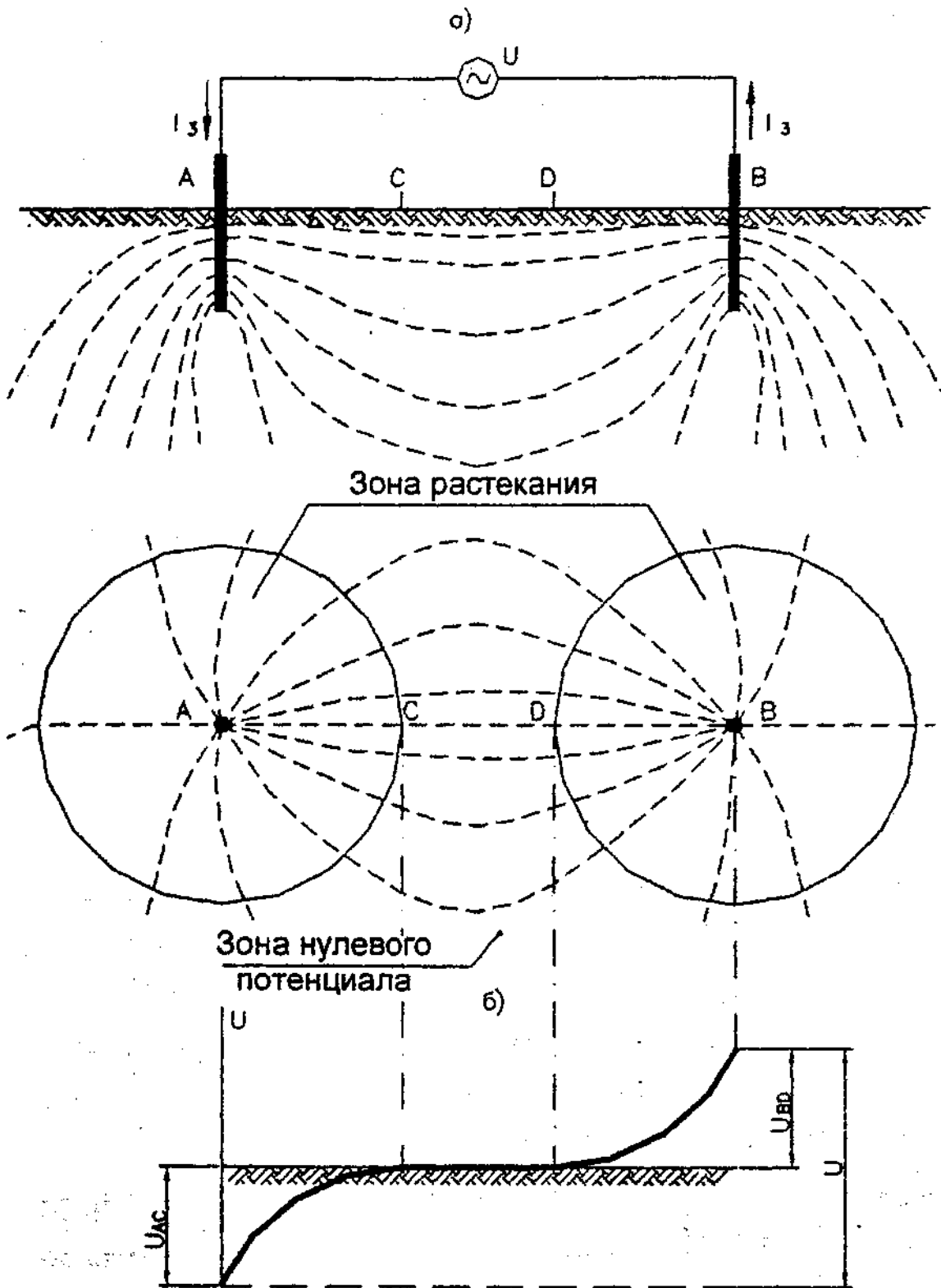


Рис. 1.1. Прохождение тока (а) и распределение напряжения (б) в однородной земле между стержневыми заземлителями А и В.

Из рис. 1.1 видно, что все точки земли, находящиеся на участке CD, имеют нулевой потенциал, так как на этом участке плотность тока в земле, стекающего с заземлителей A и B, ничтожно мала. Наибольшие потенциалы будут на заземлителях A и B. Их потенциалы называют полным потенциалом или напряжением на заземлителе U_A и U_B , которые равны:

$$U_A = -I_3 R_A = -U_{AC} \quad (1.1)$$

$$U_B = I_3 R_B = U_{BD}$$

Разные знаки у потенциалов U_A и U_B объясняются разным направлением токов, протекающих через заземлители.

Из (1.1) сопротивление заземлителей A и B будут:

$$R_A = \frac{U_A}{I_3}, \quad R_B = \frac{U_B}{I_3} \quad (1.2)$$

где I_3 - ток стекающий (втекающий) с заземлителя в землю.

Сопротивление заземлителя - это отношение напряжения на заземлителе к току, стекающему с заземлителя в землю.

Под сопротивлением заземлителя (заземляющего устройства) растеканию тока следует понимать сопротивление, которое земля оказывает прохождению тока в зоне растекания его по объему земли. Условно принято относить сопротивление растеканию тока к заземлителю, а не к земле.

Характер распределения тока в земле зависит от размеров и формы заземлителя, изменения проводимости земли в горизонтальном и вертикальном направлении (неоднородности электрической структуры земли), взаимного расположения и глубины заложения элементов заземлителя, частоты стекающего тока и практически не зависит от

величины тока, стекающего с заземлителя. Поэтому зона растекания может иметь самые произвольные формы и очертания на поверхности земли и иметь размеры от нескольких десятков метров до нескольких километров.

При измерении сопротивления заземлителей наблюдается практически аналогичная картина. С помощью генератора малой мощности между испытуемым заземлителем и токовым электродом пропускается измерительный ток $I_{изм}$, а с помощью вольтметра с высоким внутренним сопротивлением измеряется полный потенциал заземлителя U_3 , создаваемый этим током (рис. 1.2 а, б).

Если измерительный токовый электрод удален на достаточно большое расстояние от заземлителя, то между испытуемым заземлителем и токовым электродом будет участок земли с нулевым потенциалом, так как на этом участке практически не будет падения напряжения. Этот участок является зоной нулевого потенциала (ЗНП).

Из вышесказанного ясно, что правильно и достоверно можно измерить сопротивление заземлителя (заземляющего устройства), если токовый электрод удалить от заземлителя на такое расстояние, чтобы между зонами растекания заземлителя и токового электрода образовалась зона нулевого потенциала, в пределах которой устанавливается потенциальный электрод для замера полного потенциала заземлителя (напряжения на заземлителе) U_3 , создаваемого стекающим с заземлителя измерительным током.

Отношение полного напряжения на заземлителе (заземляющем устройстве) U_3 к стекающему с него измерительному току $I_{изм}$ и есть сопротивление заземлителя (заземляющего устройства):

$$R_3 = \frac{U_3}{I_{изм}}. \quad (1.3)$$

В практике измерений получить зону нулевого потенциала бывает сложно, так как приходится удалять токовый электрод от испытуемого

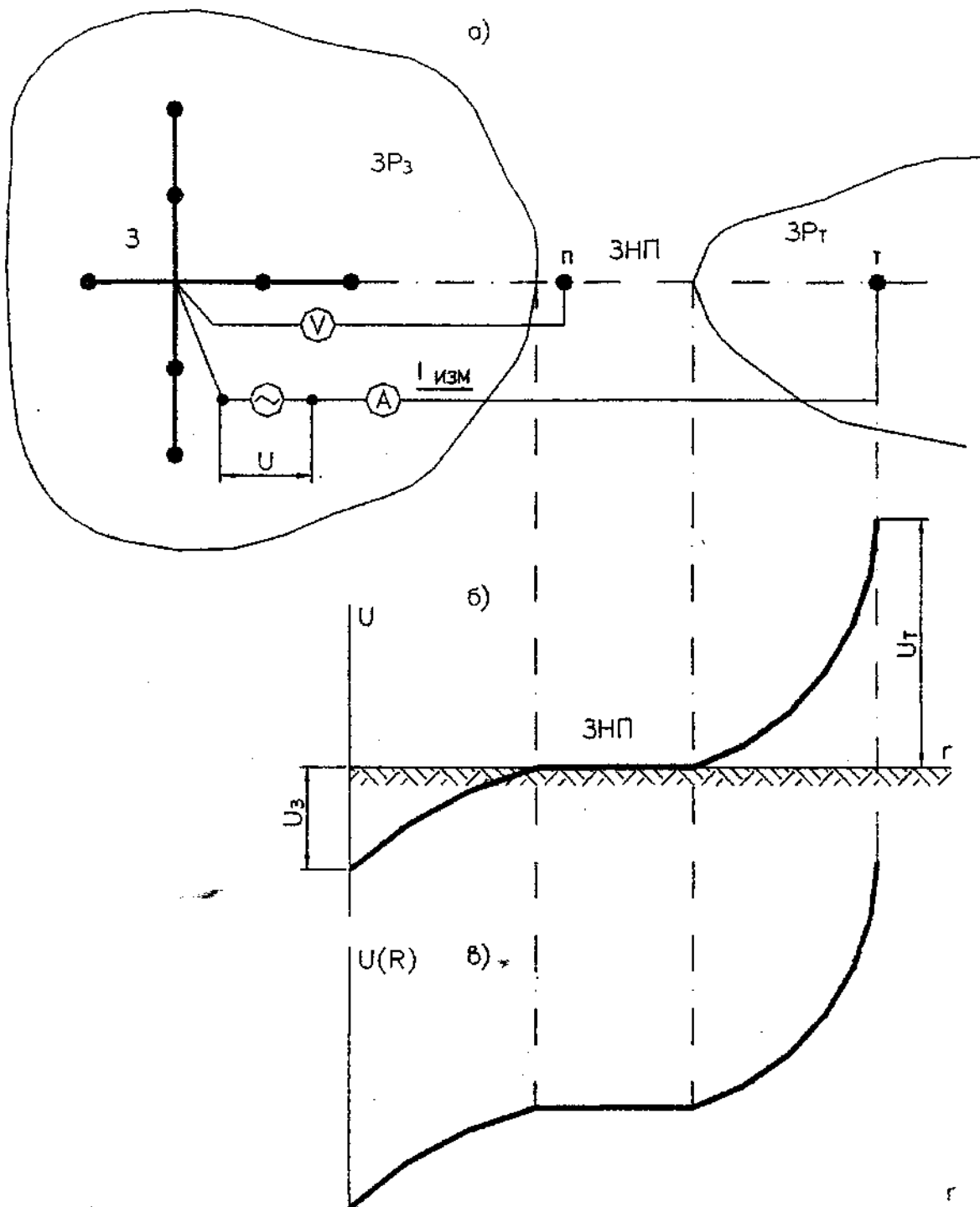


Рис. 1.2. Схема, поясняющая принцип измерения сопротивления заземлителя: а) установка измерительных электродов и зоны растекания тока; б) распределение потенциала по поверхности земли; в) потенциальная кривая

З - испытуемый заземлитель

П, Т - потенциальный и токовый электроды

$I_{изм}$ - измерительный ток

$ЗР_З$, $ЗР_Т$ - зона растекания тока с заземлителя и токового электрода

ЗНП - зона нулевого потенциала

$U_З$, $U_Т$ - полный потенциал заземлителя и токового электрода, $U_З + U_Т = U$

заземлителя очень далеко. Теоретически это бесконечно большое расстояние, а на практике ищут такое удаление токового электрода от заземлителя, чтобы средний участок потенциальной кривой имел достаточно малый наклон (был практически горизонтальным).

Чтобы оценить наклон кривой и соответственно достоверность измерений, снимают потенциальную кривую (рис. 1.2 в), для чего потенциальный электрод последовательно перемещают от заземлителя до токового электрода. В застроенных районах, когда токовый электрод удаляется от заземлителя на тысячи метров, снятие потенциальной кривой можно вести начиная с токового электрода. Следует подчеркнуть, что в городах, промышленных районах и других населенных пунктах, территория которых насыщена электропроводящими фундаментами, разного рода коммуникациями (водопровод, канализация, газопровод, кабели, заземление нулевого провода в сочетании с занулением открытых проводящих частей [1], железная дорога и пр.) этот способ измерения может оказаться единственной возможностью получить достоверное значение сопротивления заземлителя.

Необходимо учесть, что при расположении измерительных электродов в районе застройки они оказываются в зоне растекания тока с непреднамеренно объединенной системы заземлений, в которую может входить и испытуемый заземлитель, или в зоне искаженного коммуникациями поля. В этом случае получить плавную потенциальную кривую невозможно.

Если токовый электрод недостаточно удален от испытуемого заземлителя и на рис. 1.2а зоны растекания токов с электрода Т и заземлителя З накладываются друг на друга, то поле токов в земле будет являться суммой полей заземлителя и токового электрода. (Для простоты понимания примем, что цепь вольтметра V достаточно высокоомная и полем тока потенциального электрода П пренебрегаем). Поскольку токи, проходящие через заземлитель и токовый электрод имеют

противоположные направления, электрод Т наводит на заземлителе З потенциал противоположного знака и таким образом снижает напряжение на заземлителе. И чем ближе токовый электрод к испытуемому заземлителю, тем больше он снижает напряжение на заземлителе и тем большую погрешность вносит в результаты измерений. Поэтому расстояние между токовым электродом и испытуемым заземлителем должно быть выбрано достаточно большим. Минимальные расстояния, которые принимаются в Германии [2] и рекомендуются при измерении сопротивлений в Республике Беларусь:

опоры ВЛ	100 м
подстанции до 35 кВ	200 м
подстанции до 110 кВ	1 км
подстанции выше 110 кВ	3 км
электрические станции	5 км
крупные предприятия	10 км.

1. Принцип измерения сопротивления заземлителей (заземляющих устройств)

Принцип измерения заземлителя заключается в одновременном измерении тока I и напряжения U относительно точки нулевого потенциала на поверхности земли (рис.2.1а) с последующим делением измеренного напряжения на измеренный ток. Обычно для измерений используются специальные приборы - измерители сопротивления заземления МС-08 и Ф4103М1 (рис.2.1б), в которых автоматически в процессе измерений происходит деление U на I .

Для измерения сопротивления заземлителя необходимо:

1. Создать токовую цепь для тока I , стекающего с испытуемого заземлителя, включающую заземлитель ЗУ, генератор тока Г и токовый электрод Т. При использовании генератора тока без стабилизации тока необходим еще амперметр А (рис.2.1а);

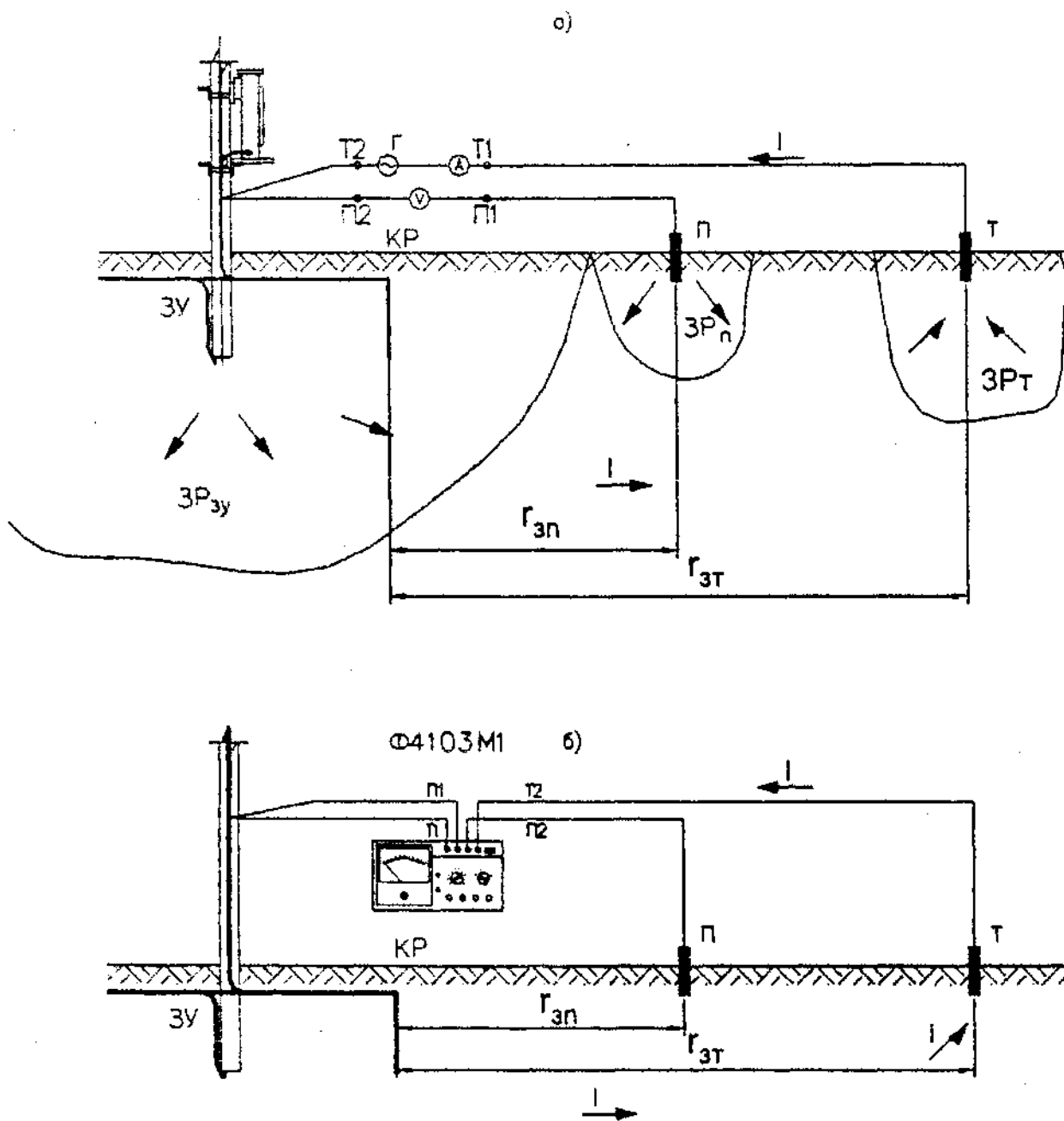


Рис. 1.2. Принципиальная схема измерения сопротивления с помощью вольтметра и амперметра (а) и измерителем заземления Ф4103М1 или МС-08 (б)

ЗУ - заземляющее устройство (заземлитель)

П, Т - потенциальный и токовый электроды

Г - источник измерительного тока

А, V - амперметр, вольтметр

$r_{3п}$, $r_{3т}$ - расстояние от края заземлителя до места установки потенциального и токового электродов

КР - край заземлителя

$ЗР_{зу}$, $ЗР_{т}$, $ЗР_{п}$ - зона растекания тока с заземлителя, токового и потенциального электродов

2. Создать потенциальную цепь для измерения напряжения U на заземлителе, включающую заземлитель ЗУ, вольтметр V и потенциальный электрод П (рис.2.1а).

В общем случае электрическое поле в земле потенциального электрода, токового электрода и заземлителя влияют друг на друга, в результате чего измеренное сопротивление заземлителя определяется общеизвестной зависимостью

$$R_{\text{изм}} = R + \alpha_{\text{пт}} - \alpha_{\text{тз}} - \alpha_{\text{пз}}, \quad (2.1)$$

где $R_{\text{изм}}$ - измеренное сопротивление заземлителя (показание прибора);

R - истинное сопротивление заземлителя;

$\alpha_{\text{пт}}$ - взаимное сопротивление между потенциальным и токовым электродом;

$\alpha_{\text{тз}}$ - взаимное сопротивление между заземлителем и токовым электродом;

$\alpha_{\text{пз}}$ - взаимное сопротивление между заземлителем и потенциальным электродом.

Зависимость взаимных сопротивлений от расстояний между ЗУ, П и Т обратно пропорциональная, т.е. чем меньше взаимное расстояние между ЗУ, П и Т, тем больше сопротивления $\alpha_{\text{пт}}$, $\alpha_{\text{тз}}$, $\alpha_{\text{пз}}$ и тем больше ошибка измерений обусловленная взаимным влиянием участвующих в измерении электродов, равная $\alpha_{\text{пт}} - \alpha_{\text{тз}} - \alpha_{\text{пз}}$.

При очень большом удалении токового и потенциального электродов друг от друга и от испытуемого заземлителя (теоретически на бесконечно большом удалении) их взаимовлияние друг на друга отсутствует или пренебрежимо мало, т.е.

$$\alpha_{\text{пт}} \approx \alpha_{\text{тз}} \approx \alpha_{\text{пз}} \approx 0 \quad (2.2)$$

$$\text{и } R_{\text{изм}} = R.$$

Точный результат можно получить и при относительно небольшом расстоянии между заземлителем и измерительными электродами, для чего их нужно расположить так, чтобы выполнялось условие

$$\alpha_{пт} - \alpha_{тз} - \alpha_{пз} = 0 \text{ или: } \alpha_{пт} = \alpha_{тз} + \alpha_{пз}. \quad (2.3)$$

Если для однородной земли с определенными допущениями можно рассчитать их взаимное положение относительно друг друга, то для реальной земли, а в природе однородной земли не существует, эта задача теоретически пока не решена. Поэтому единственный реальный путь правильных измерений сопротивления заземлителей в реальной земле - увеличивать расстояния между заземлителем и измерительными электродами, стремясь выполнить условие (2.2).

Для измерения сопротивления заземлителей (заземляющих устройств) применяется однолучевая схема расположения измерительных электродов со снятием кривой сопротивления (потенциальной кривой) $R_{изм} = f(r_{зп} / r_{зт})$ (рис 2.2). На зависимости $R_{изм} = f(r_{зп} / r_{зт})$ (рис.2.2) должны четко выделяться три зоны. В I зоне $\alpha_{пт} < \alpha_{тз} + \alpha_{пз}$ и $R_{изм} < R$. Во II зоне $\alpha_{пт} \approx \alpha_{тз} \approx \alpha_{пз} \approx 0$ или $\alpha_{пт} \approx \alpha_{тз} + \alpha_{пз}$ и $R_{изм} \approx R$. В III зоне $\alpha_{пт} > \alpha_{тз} + \alpha_{пз}$ и $R_{изм} > R$.

Проведенные теоритические и экспериментальные исследования [3] показали, что место установки потенциального электрода для точного измерения, т.е. где $\alpha_{пт} \approx \alpha_{тз} \approx \alpha_{пз} \approx 0$, в зависимости от многих факторов (см. раздел 1), может находиться в диапазоне от $0,46r_{зп}/r_{зт}$ до $0,75r_{зп}/r_{зт}$, при отсчете $r_{зп}$ и $r_{зт}$ от края заземлителя.

При снятии зависимости $R_{изм} = f(r_{зп}/r_{зт})$, кроме наглядного контроля за достаточностью расстояний между заземлителем и измерительными электродами, исключаются случайные показания, обусловленные наличием локальных неоднородностей в земле. Известно, что локальные неоднородности в месте установки измерительных электродов, токового или потенциального,

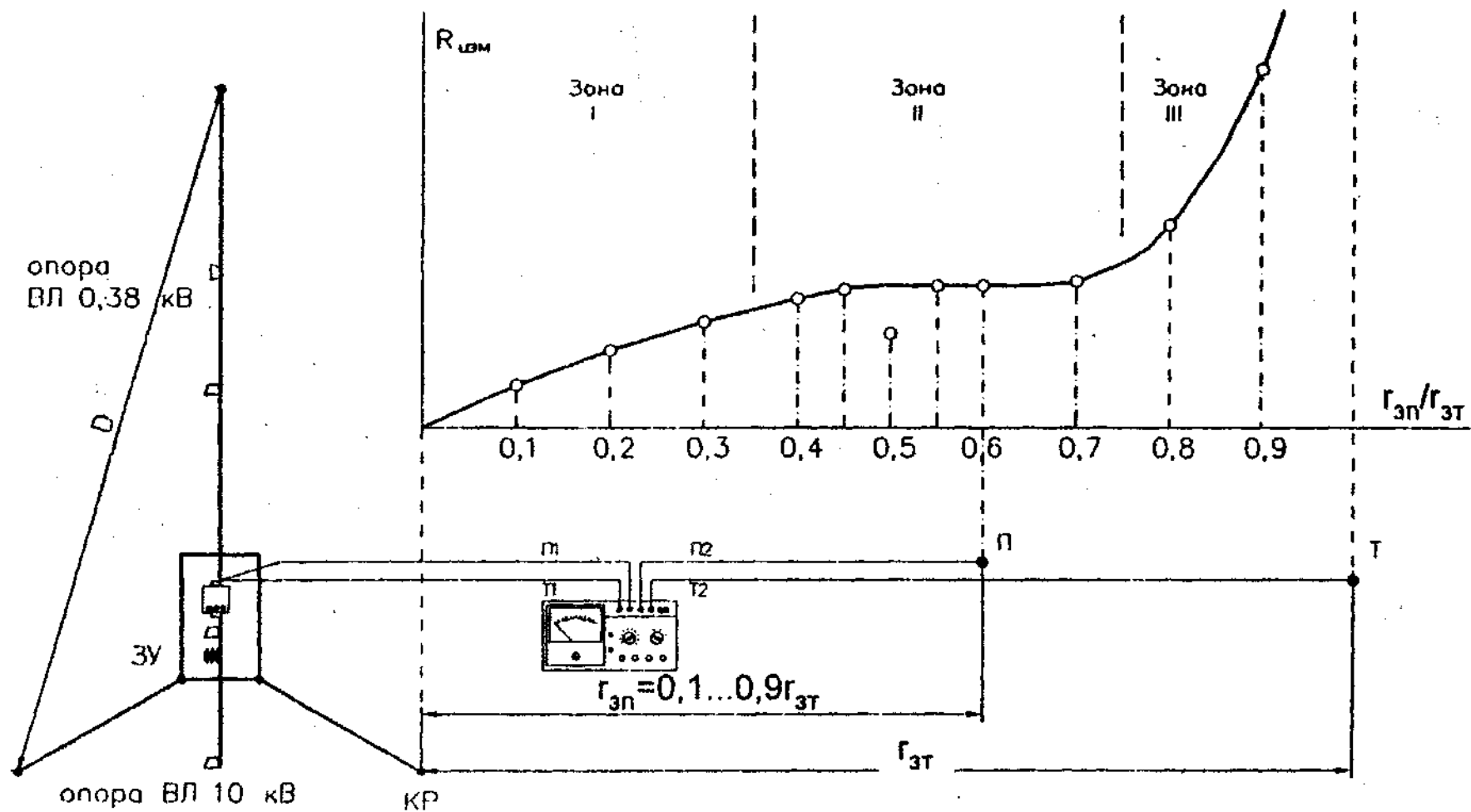


Рис. 2.2. План расположения измерительных электродов при измерении сопротивления заземлителей (заземляющих устройств)

ЗУ - заземляющее устройство (заземлитель)

КР - край заземлителя

П, Т - потенциальный и токовый электроды

D - диагональ (наибольший размер) заземлителя

$r_{эл}$, $r_{зт}$ - расстояние от края заземлителя до места установки потенциального и токового электродов

(например линзы глины или торфа, даже небольшие по размерам бугры и ямы, токопроводящие коммуникации и т.п.) искажают измерительное электрическое поле. Наличие таких неоднородностей приводит к отклонению потенциальной кривой от плавного хода (рис. 5.1г); в этом случае для получения правильных результатов необходимо изменить направление разносов измерительных электродов. Попадание потенциального электрода в места локальных неоднородностей приводит к разбросу отдельных точек измерения на кривой. Такая точка на рис. 2.2 показана при $r_{\text{ин}}/r_{\text{ст}}=0,5$, где при «слепом» измерении результат почти в 2 раза ниже истинного значения. Поэтому, при разовых («слепых») замерах не исключается возможность получения случайных результатов, даже при достаточном удалении токового электрода от заземлителя. С этой точки зрения широко распространенный способ измерения с одним фиксированным положением потенциального электрода неприемлим для практических измерений и не должен применяться для измерения сопротивления любых, даже самых простых, заземлителей.

Поэтому одно из необходимых условий для получения достоверного значения сопротивления заземлителя (заземляющего устройства) – выполнение ряда последовательных измерений и построение графической зависимости $R_{\text{изм}} = f(r_{\text{ин}} / r_{\text{ст}})$. Снятие потенциальной кривой (кривой сопротивления) – обязательное условие достоверных измерений.

Как отмечалось ранее, истинное значение сопротивления может быть измерено при наличии зоны нулевого потенциала между токовым электродом и заземляющим устройством. Как правило при удалении токового электрода от края заземлителя на $7,5+10D$ (D – наибольший размер заземлителя) на поверхности земли появляется такая зона [2,3]. На графике (рис. 2.2) это выражается в виде наличия зоны II с горизонтальной частью.

3. Порядок производства измерений

3.1. Измерение сопротивления заземлителей (заземляющих устройств) выполняется двумя исполнителями.

3.2. До того, как приступить к непосредственно измерениям, определяется:

- 1) наибольший размер заземлителя D , так называемая диагональ заземлителя (рис. 2.2);
- 2) направление выноса электродов;
- 3) расстояние до токового электрода ($r_{\text{эф}} \geq 5D$, но не менее 100м).

При измерении сопротивления заземлителей опор ВЛ 0,38 кВ, трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ с отходящими ВЛ 0,38 кВ и кабельными линиями (КЛ) 0,38 и 10 кВ направление выноса выбирается под углом близким к 90° к трассам ВЛ и КЛ. Токовый электрод должен быть максимально удален от ВЛ и КЛ, т.к. заземлители опор ВЛ 0,38 кВ по трассе линии через нулевой провод связаны между собой и с заземлителем трансформаторной подстанции и являются естественными выносными заземлителями подстанции. Оболочка и броня кабелей 10 и 0,38 кВ также являются элементами заземляющего устройства подстанции. Поэтому как бы далеко не был удален токовый электрод от подстанции вдоль трассы ВЛ и КЛ он будет расположен в пределах заземляющего устройства подстанции. Получить хотя бы близкий к достоверному результат при таком расположении измерительных электродов невозможно (см. раздел 1).

3.3. Расстояния до измерительных электродов (токового и потенциального), количество замеров для одного заземлителя и определение сопротивления по результатам измерений следует принимать согласно рекомендаций настоящего Пособия.

Разработка и массовый выпуск приборов по измерению сопротивления заземлителей начались в 30-х годах, когда теория

растекания токов в земле базировалась на представлении однородной электрической структуры земли и простейших, небольших размеров, заземлителях. И поскольку разработкой и выпуском приборов занимались специалисты в области приборостроения, не владеющие новыми познаниями в теории заземлений, первоначальные схемы разносов измерительных электродов и принципы измерений автоматически переносились на новые серии приборов и приводились на крышках приборов.

3.4. Подготовка прибора к измерениям, все контрольно-проверочные операции (контроль питания, уровня помех, установка нуля, калибровка и пр.) выполняются согласно паспорта к прибору. Подключение проводов к зажимам прибора Т1, Т2, П1, П2, идущих к испытуемому заземлителю и измерительным электродам, также выполняется согласно паспорта к прибору. Все остальные операции производятся как указано в настоящем Пособии.

3.5. Порядок производства измерений проиллюстрируем на примере использования для этой цели прибора Ф4103М1.

До того, как приступить к измерениям, установить сухие элементы типа А373 или 373 (9 шт.) в отсек питания с соблюдением полярности (если они не установлены ранее) или подключить прибор к внешнему источнику постоянного тока напряжением 12 В. —

3.6. Установить прибор на ровной горизонтальной поверхности и проверить напряжение источника питания. Для этого снять крышку, закоротить зажимы Т1, П1, П2, Т2 между собой, установить переключатели в положение КЛБ и 0,3, а ручку КЛБ — в крайнее правое положение. Нажать кнопку ИЗМ. Если при этом лампа КП не загорается, напряжение питания в норме.

3.7. Проверить работоспособность прибора и выполнить калибровку. Для этого, в положении КЛБ переключателя установить ноль ручкой УСТ 0, нажать кнопку ИЗМ, ручкой КЛБ установить стрелку на отметку 30.

Длительно не выполняя никаких операций с прибором не забывайте переключатель устанавливать в положение ОТКП для предотвращения разряда источника внутреннего питания.

3.8. Приступая к измерениям, один исполнитель остается у прибора и катушек с проводом, а второй (помощник) берет один-два электрода, молоток, конец провода токовой цепи и уходит, растягивая по прямой провод токовой цепи по выбранному направлению. Расстояние до установки токового электрода отсчитывается мерным инструментом («козой») или, менее точно, шагами. Длина шага среднего роста человека - 70+80 см. Удалившись от края заземлителя на расстояние указанное в п.3.2, помощник забивает токовый электрод в землю (для гарантии можно два на расстоянии 2-3 м друг от друга) и присоединяет к ним провод токовой цепи. Нельзя токовый электрод размещать в яме, канаве, водоеме, насыпном грунте и других местах, отличных от общего ландшафта местности. Это требование еще в большей степени относится к потенциальному электроду.

3.9. После забивки и подсоединения измерительного провода к токовому электроду, помощник возвращается к месту установки прибора. Здесь он берет потенциальный электрод, провод потенциальной цепи, молоток, и двигаясь от края заземлителя вдоль раскатанного токового провода так, чтобы между токовым и потенциальным проводами было расстояние не менее 1м забивает потенциальный электрод последовательно в точках 0,1, 0,2, 0,3 и т.д. от расстояния до токового электрода, а исполнитель у прибора, выполнив очередной замер, дает соответствующую команду (идти дальше, забить глубже один из электродов и пр.). Приблизившись к токовому электроду и получив разрешение на разборку схемы, разбирает ее и возвращается с электродами к прибору.

3.10. Непосредственно измерения начинают с проверки уровня помех в поверяемой цепи. Для этого исполнитель у прибора собирает схему по рис. 3.1, для чего подключает провода от заземлителя ЗУ и токового электрода Т соответственно к зажимам прибора П1 и П2. Переключатели установить в положение ИЗМ II и 0,3, и нажать кнопку ИЗМ. Если лампа КПм не загорается, то уровень помех не превышает допустимый и измерения можно проводить.

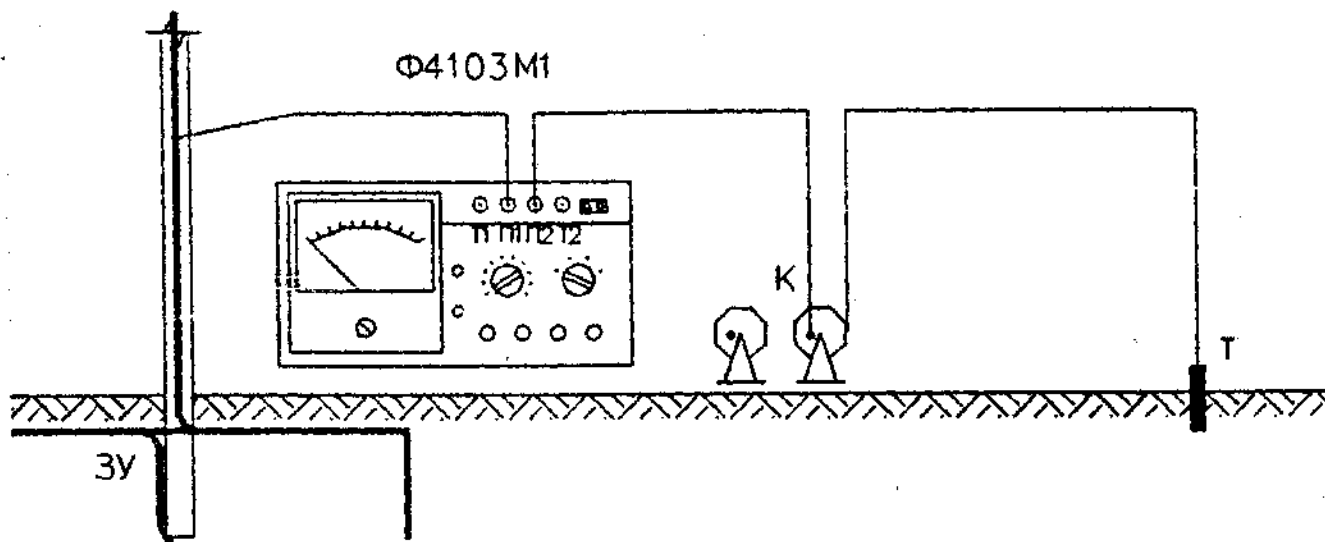


Рис. 3.1. Схема проверки уровня помех
 К - катушки с измерительным проводом

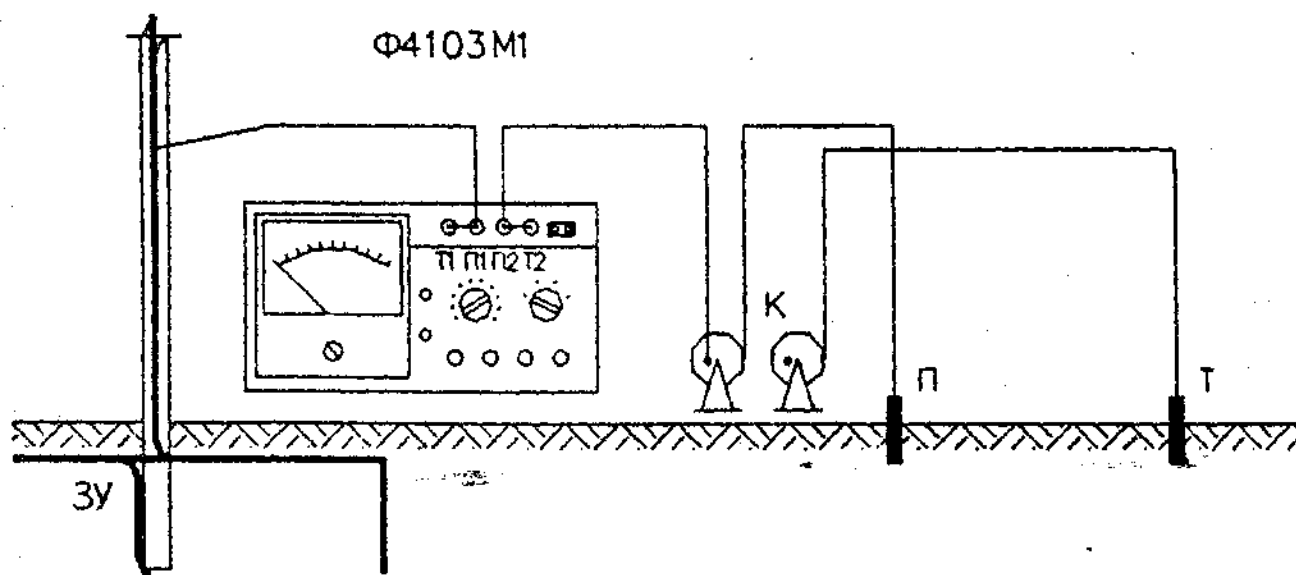


Рис. 3.2. Схема измерения сопротивления потенциального электрода
 К - катушки с измерительным проводом

Если лампа КПм загорается, то уровень помех превышает допустимый для диапазона 0–0,3 Ом (3В) и необходимо перейти на диапазон 0–1 Ом, где допустимый уровень помех 7В. Если в этом случае лампа, не загорается, можно проводить измерения на всех диапазонах (кроме 0–0,3 Ом).

Внимание! *Запрещается подключать провода к зажимам прибора T1 и T2 и проводить измерения, если лампа КПм загорается на диапазоне 0–1 Ом, во избежание выхода прибора из строя.*

Если помех нет и стрелка не колеблется под воздействием помех, то при дальнейших измерениях, для ускорения процесса измерений можно вместо режима ИЗМ II пользоваться режимом ИЗМ I. Дальнейшее описание работы с прибором в режиме ИЗМ II предполагает производство измерений при наличии помех.

3.11. Измерить сопротивление потенциального электрода, для чего собрать схему по рис. 3.2. Установить диапазон измерения ориентировочно соответствующий измеряемому сопротивлению электрода, затем установить ноль и откалибровать прибор по п. 3.7. Перевести переключатель в положение ИЗМ II и отсчитать значение сопротивления. Если оно превышает допустимое значение, указанное в таблице 3.1 для выбранного диапазона измерения сопротивления заземлителя, сопротивление потенциального электрода необходимо уменьшить (глубже забить электрод).

Необходимость каждый раз измерять сопротивление потенциального электрода объясняется тем, что даже при превышении паспортных значений сопротивления потенциального электрода, при дальнейших измерениях прибор может калиброваться. Но показания прибора при измерении сопротивления заземлителя будут произвольными, не соответствующие истинным.

Допустимые сопротивления потенциального электрода

Диапазон измерений, Ом	Диапазон допустимых значений сопротивления потенциального электрода, кОм
0 – 0,3; 0 – 1	0 – 2
0 – 3; 0 – 10	0 – 6
0 – 300; 0 – 1000 0 – 3000; 0 – 15000	0 – 12

3.12. Собрать схему для измерения сопротивления заземлителя в соответствии с рис. 5.1 на первой точке измерения ($r_{зп} = 0,1r_{зт}$).

3.13. Установить необходимый диапазон измерений, провести установку ноля и калибровку по п.3.7. Если при проведении калибровки стрелка не доходит до отметки 30, уменьшить сопротивление токового электрода (забить глубже токовый электрод или добавить еще один электрод).

Перевести переключатель РОД РАБОТ в положение ИЗМ II, отсчитать значение сопротивления и записать в протокол. Если стрелка под воздействием помех совершает колебательные движения, устранить их вращением ручки ПДСТ f .

3.14. Перенести потенциальный электрод последовательно в точки 2+9 ($r_{зп} = 0,2+0,9r_{зт}$) и в каждой точке выполнить операции по п.п.3.11+3.13.

3.15. Если в процессе измерения возникла необходимость перейти на другой диапазон измерения, переключатель ПРЕДЕЛЫ Ω переключить в необходимое положение. Установить ноля и откалибровать прибор по п.3.7. Затем перевести переключатель РОД РАБОТ в положение ИЗМ II и отсчитать значение сопротивления.

3.16. Для общения между собою измерители используют рацию или другое переговорное устройство, если разносы очень велики и не слышно голоса, или не видно жестов.

3.17. В качестве токового и потенциального электродов используются стержни длиной около 1 м, диаметром 10+12 мм. Обычно достаточно одного стержня, а в плохопроводящих грунтах для токового электрода – еще 1-2 дополнительных стержня, забиваемых на расстоянии 2+3 м друг от друга и соединенных между собой проводом из любого металла сечением, обеспечивающим механическую прочность провода.

В процессе измерений электроды не следует глубоко забивать в землю. При забивке они раскачиваются и не обеспечивают контакта с землей по всей длине, а после измерений требуется большое усилие, чтобы их вырвать из земли. Поэтому забивать электроды, как правило, следует на глубину 0,3-0,5 м.

3.18. Чтобы исключить сопротивление соединительных проводов из цепи измерения при измерении сопротивлений заземлителей (заземляющих устройств) токовый Т1 и потенциальный П1 зажимы измерительного прибора подсоединяются к испытываемому заземлителю отдельными проводами. В этом случае никаких ограничений по длине и сечению к проводам не предъявляется, т.к. их сопротивление исключается из схемы измерения.

Сопротивление проводов, идущих от прибора к токовому Т2 и потенциальному П2 электродам, не влияет на результаты измерения. Поэтому они могут быть из любого металла (сталь, медь, а также их сочетание) сечением, обеспечивающим их механическую прочность. Основное требование к измерительным проводам – наличие на них изоляции, стойкой к истиранию и допускающих работу в мокром состоянии.

3.19. Измерительные провода, как правило, следует хранить на катушках. При измерении они остаются на катушках и при конкретном замере последовательно разматывается необходимой длины конец от прибора до измерительного электрода. Остальная часть остается на катушке.

3.20. Схема разбирается лишь после выполнения всех измерений и подсчетов, подтверждающих удовлетворительный результат измерений.

3.21. Не следует ставить перемычку между клеммами прибора Т1 и П1 и подсоединять прибор к испытуемому заземлителю одним проводом, т.к. сопротивление провода добавляется к измеряемому сопротивлению заземлителя. Чем больше сопротивление этого провода и меньше сопротивление заземлителя, тем большую погрешность вносит измерительный провод. Например, при измерении сопротивления 4 Ом и длине медного провода 10 м сечением 1,5 мм² дополнительная погрешность превышает 3%.

4. Устройство токового электрода

Во всех случаях устройства токового электрода он не должен располагаться ближе 100 м от подземных металлических коммуникаций (трубопроводы, кабели с металлической оболочкой и броней и т.п.) и железобетонных оснований, фундаментов и других естественных заземлителей, имеющих металлическую связь с испытываемым заземляющим устройством.

Рекомендуемые ниже способы устройства токового электрода используются для создания токовой цепи в плохопроводящих грунтах при измерении прибором МС-08, т.к. он может работать при сопротивлении токовой цепи (с электродом) не более 250 или 500 Ом, в зависимости от диапазона измеряемых сопротивлений. Достичь таких значений часто бывает достаточно трудоемкой работой.

При измерении прибором Ф4103М1 таких проблем, как правило, не возникает, т.к. в диапазоне измеряемых сопротивлений заземлителей в сети 0,38-10 кВ допустимое сопротивление токовой цепи (с электродом) составляет от 3 до 6 кОм. Такое сопротивление обеспечит один-два электрода диаметром 10-12 мм заглубленные на 50 см.

При устройстве токового электрода менее трудоемко и более эффективно забивать стержни не вертикально, а под небольшим углом к поверхности земли (почти горизонтально) с последующим утаптыванием

земли над ними. Особый эффект такой способ устройства токового электрода дает при влажном верхнем слое, и когда подстилающие слои имеют большее удельное сопротивление, чем поверхностный. Кроме того, после измерений электрод легко извлечь из земли.

Роль токового электрода может выполнять одножильный или многожильный неизолированный провод, закопанный и утрамбованный на глубину 5-10 см.

В качестве вспомогательного токового электрода можно использовать естественные заземлители, например, железобетонные фундаменты и стойки опор обесточенных ВЛ 10 и 35 кВ вместе с их заземлителями, если опоры не связаны с испытуемым заземлителем грозозащитным тросом и удалены на необходимое расстояние от испытываемого заземлителя. **Использовать фундаменты опор линий находящихся под напряжением запрещается.**

5. Определение сопротивления по результатам измерений

Как указано в разделе 3, по однолучевой схеме электроды располагаются по одной прямой. Токовый электрод удаляется от края испытываемого заземлителя на расстояние указанное в п.3.2, а потенциальный электрод поочередно устанавливается на расстояниях 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 от $r_{\text{ст}}$ (рис. 5.1). Потенциальный электрод необходимо перемещать обязательно на строго равные расстояния. Здесь и далее $r_{\text{ст}}$ – расстояние от **края** заземляющего устройства до токового электрода, или до ближайшего из них, если используется несколько стержней. Расстояния до потенциального электрода могут быть и меньше указанных, например, 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 от $r_{\text{ст}}$ и т.д., но не больше.

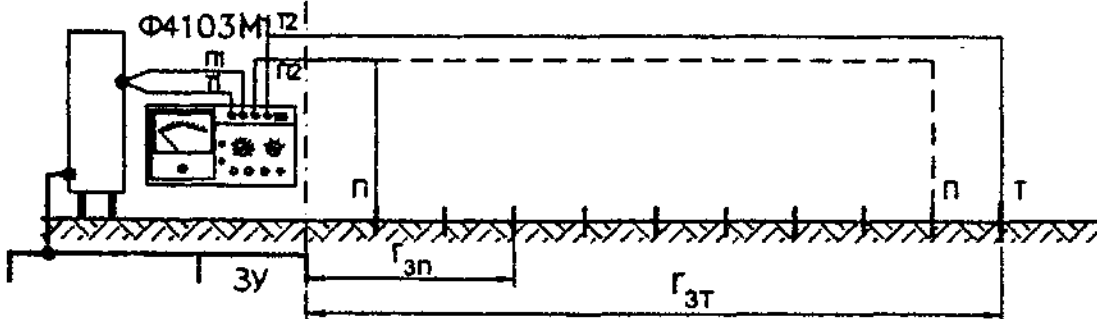
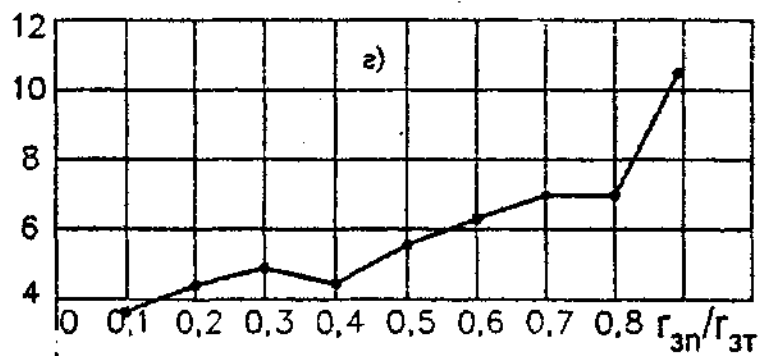
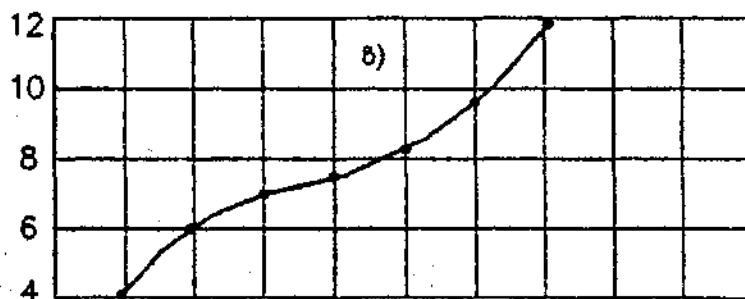
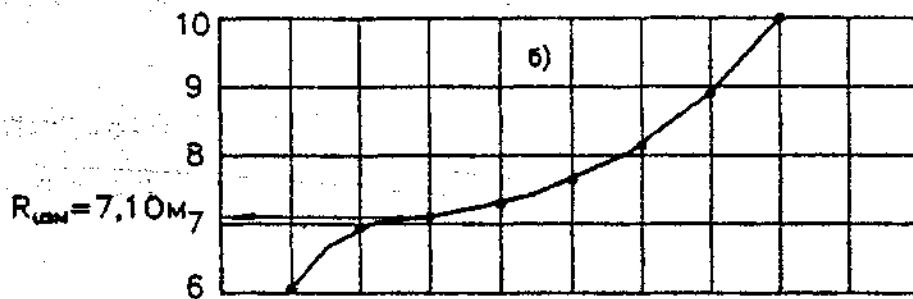
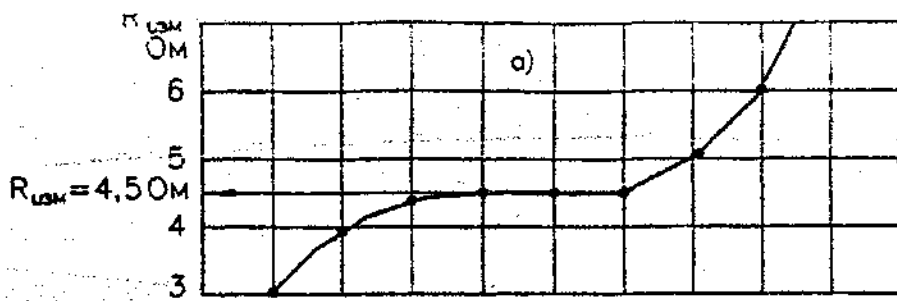


Рис. 5.1. Зависимости показаний прибора от положения потенциального электрода ($R_{изм} = f(r_{3п}/r_{3т})$)

Измерения производятся при установке потенциального электрода в каждой из указанных точек и по данным измерений строится зависимость $R_{\text{изм}} = f(r_{\text{пт}}/r_{\text{ст}})$ (рис. 5.1). Если эта зависимость имеет плавный характер с явно выраженным горизонтальным участком (рис. 5.1а), то за измеренное сопротивление принимается значение соответствующее горизонтальному участку. В данном случае $R_{\text{изм}} = 4,5 \text{ Ом}$.

Если явно выраженного горизонтального участка на зависимости не наблюдается, то на участке перегиба кривой находят точку, в которой предыдущее измерение отличается от измерения в данной точке менее чем на минус 5%, а последующее менее чем на плюс 5%. Если эта точка лежит на пологом участке кривой близком к горизонтальному (рис. 5.1б), то значение сопротивления в этой точке с некоторым приближением принимается за измеренное. Если в месте перегиба кривая $R_{\text{изм}} = f(r_{\text{пт}}/r_{\text{ст}})$ не имеет пологого участка (рис. 5.1в) – это свидетельствует о том, что токовый электрод недостаточно удален от заземлителя, и измерения следует повторить, увеличив расстояние до токового электрода в 1,5-2 раза.

Для заземлителей разной конфигурации в земле разной электрической структуры истинное сопротивление может быть измерено при положении потенциального электрода для каждого конкретного случая на удалении $0,46 \div 0,75 r_{\text{ст}}$ [3]. Поэтому применяемый до сих пор метод измерения с расположением потенциального электрода посередине между заземлителем и токовым электродом ($r_{\text{пт}} = 0,5r_{\text{ст}}$) в принципе неверный. Он, как частный случай, ограниченно справедлив для определенных конфигураций заземлителя в земле определенной электрической структуры, которых при конкретном измерении может не оказаться. Например, в земле с большей проводимостью нижних слоев по сравнению с верхним слоем точка нулевого потенциала будет находиться ближе к испытываемому заземлителю ($r_{\text{пт}} = 0,46r_{\text{ст}}$), а участок кривой $R_{\text{изм}} = f(r_{\text{пт}}/r_{\text{ст}})$ близкий к горизонтальному – в диапазоне $r_{\text{пт}} = 0,4 \div 0,5r_{\text{ст}}$.

Встречаются такие сочетания проводимости слоев (например, растительный слой на песчаном основании или неглубокий торф на кварцевом песке и т.п.), когда и при удалении токового электрода на 5+7D от края заземляющего устройства нельзя получить точный результат. В этом случае пользуются приближенным результатом, определяя сопротивление по примеру рис. 5.16 при максимально возможном удалении токового электрода.

Если кривая не плавная (рис. 5.1г), что может быть следствием влияния подземных и наземных коммуникаций, резких локальных неоднородностей грунта (например, включения погребенного торфа) между заземлителем и измерительными электродами или в месте установки электродов (потенциального или токового) и других причин, измерения должны быть повторены при переносе токового электрода в другом направлении от заземлителя.

6. Измерение сопротивления заземляющих устройств (заземлителей) малых размеров

Измерение сопротивления заземляющих устройств должны выполняться согласно разделов 2+5 настоящего Пособия.

Если пользоваться другими инструкциями, схемами установки измерительных электродов, приведенными на крышках и в паспортах измерителей сопротивления заземлений, распространенными в практике методами забивки измерительных электродов в низинке, болотце и т.п. и другими, укоренившимися в практику «измерений» методами, фактическое сопротивление может отличаться от «измеренного» на десятки и сотни процентов, о чем подробно изложено в разделах 1+3.

При повторных испытаниях заземляющих устройств (ЗУ) в сроки указанные в «Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей Белорусской энергосистемы» и достаточном опыте исполнителей, для условий, когда ЗУ не переустанавливалось, а ландшафт поверхности ровный,

Встречаются такие сочетания проводимости слоев (например, растительный слой на песчаном основании или неглубокий торф на кварцевом песке и т.п.), когда и при удалении токового электрода на 5+7D от края заземляющего устройства нельзя получить точный результат. В этом случае пользуются приближенным результатом, определяя сопротивление по примеру рис. 5.1б при максимально возможном удалении токового электрода.

Если кривая не плавная (рис. 5.1г), что может быть следствием влияния подземных и наземных коммуникаций, резких локальных неоднородностей грунта (например, включения погребенного торфа) между заземлителем и измерительными электродами или в месте установки электродов (потенциального или токового) и других причин, измерения должны быть повторены при переносе токового электрода в другом направлении от заземлителя.

6. Измерение сопротивления заземляющих устройств (заземлителей) малых размеров

Измерение сопротивления заземляющих устройств должны выполняться согласно разделов 2+5 настоящего Пособия.

Если пользоваться другими инструкциями, схемами установки измерительных электродов, приведенными на крышках и в паспортах измерителей сопротивления заземлений, распространенными в практике методами забивки измерительных электродов в низинке, болотце и т.п. и другими, укоренившимися в практику «измерений» методами, фактическое сопротивление может отличаться от «измеренного» на десятки и сотни процентов, о чем подробно изложено в разделах 1+3.

При повторных испытаниях заземляющих устройств (ЗУ) в сроки указанные в «Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей Белорусской энергосистемы» и достаточном опыте исполнителей, для условий, когда ЗУ не переустраивалось, а ландшафт поверхности ровный,

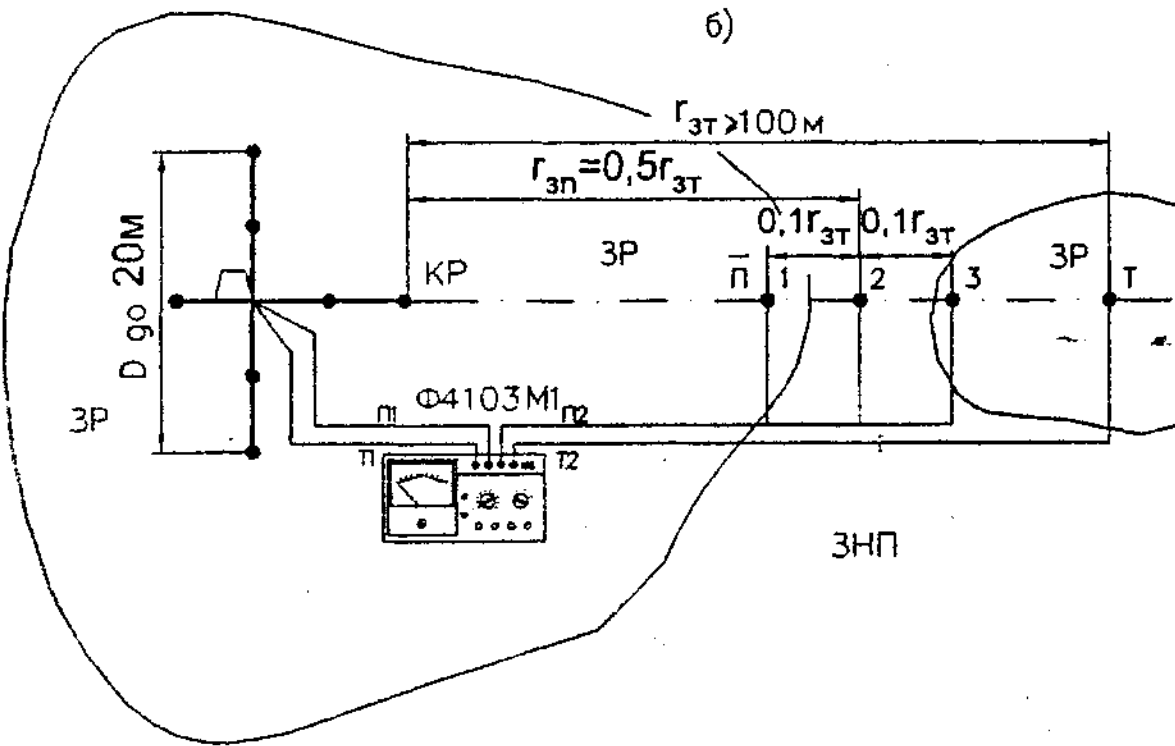
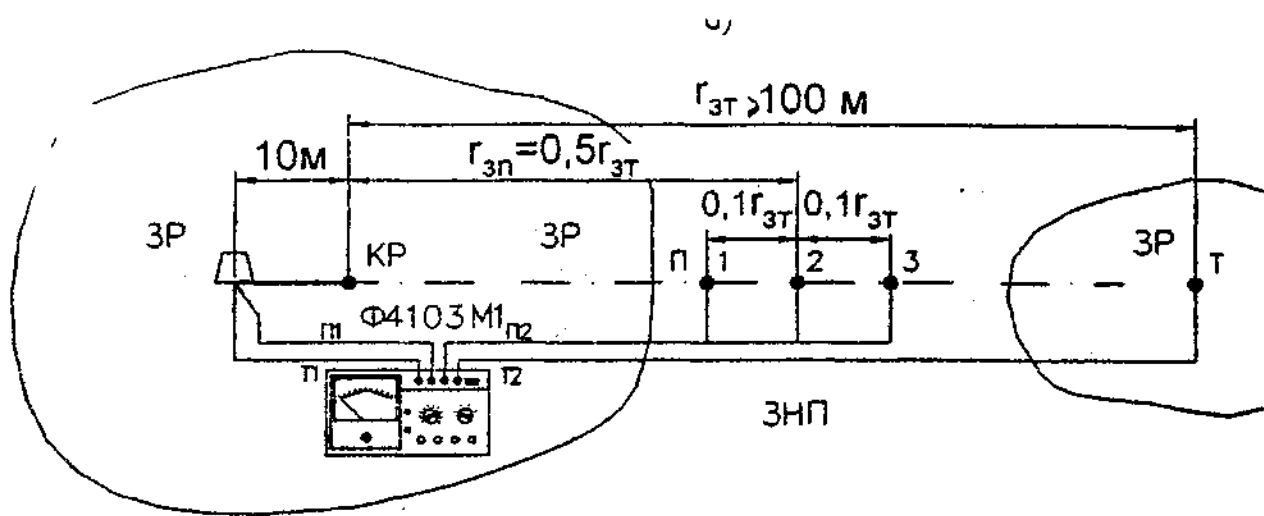


Рис. 5.1. Схема измерения сопротивления небольших по размеру заземляющих устройств (заземлителей)

КР - край заземлителя

D - диагональ заземлителя

П, Т - потенциальный и токовый электроды

$r_{3п}$, $r_{3т}$ - расстояние от края заземлителя до места установки потенциального и тового электродов

ЗР - зона рстекания тока

ЗНП - зона нулевого потенциала

измерение сопротивления заземлителей, имеющих размеры до 20 м, допускается проводить по схеме, приведенной на рис. 6.1. Измерительные электроды П и Т следует располагать на расстояниях указанных на рис. 6.1, и для получения удовлетворительного результата произвести как минимум три измерения, при положении потенциального электрода в точках 1, 2 и 3. Измерения считаются приемлемыми, если показания прибора при положении потенциального электрода в точках 1 и 3 отличаются от показания прибора в точке 2 менее чем на 5%. При этом, обязательным условием достоверности результатов измерений является следующее:

- 1) все три показания прибора одинаковы, что и является истинным сопротивлением (рис. 6.1а); или
- 2) при положении потенциального электрода в точке 3 показания прибора равны или больше в пределах 5%, а в точке 1 равны или меньше в пределах 5% показаний прибора при положении потенциального электрода в точке 2. В этом случае за измеренное сопротивление принимается показание прибора при положении потенциального электрода в точке 2 (рис. 6.1б).

Если эти условия не соблюдаются, измерения считаются недостоверными и их следует повторить согласно разделов 3-5, увеличив при этом расстояние до токового электрода в 1,5-2 раза или изменив направление разноса измерительных электродов.

7. Сопоставление измеренных значений сопротивления с нормами ПУЭ

По выполняемым функциям все заземляющие устройства (заземлители) электроустановок условно делятся на рабочие, защитные и грозозащитные. Подробно об этом изложено в [1].

В зависимости от выполняемых заземлителем функций его сопротивление должно быть не более нормированной величины в определенный период года.

Периоды года, когда должно обеспечиваться нормированное ПУЭ сопротивление подразделяются на лето и зиму (любое время года).

Величина сопротивления заземлителя (заземляющего устройства) электроустановки в течение года изменяется в зависимости от грунтово-климатических условий. Наибольшей величины сопротивление заземлителя достигает зимой. Это связано с тем, что зимой вследствие промерзания грунта его удельное сопротивление всегда больше, чем в другой период года. Поэтому, нормирование сопротивления в любое время года – подразумевает зиму, когда его сопротивление максимально. Применительно к грунтово-климатическим условиям Республики Беларусь к зимнему сезону (зиме) относится период времени, когда земля промерзает на глубину 0,5 м и глубже, согласно [6] – это время с декабря по февраль месяц. Остальной период года относится к летнему сезону (лету).

Измерения сопротивления заземлителей должны выполняться зимой или летом, т.е. в тот период года, когда должно обеспечиваться нормированное сопротивление. Например, для грозозащитных заземлений допустимое сопротивление нормируется для летнего (грозового) сезона и измерения должны проводиться летом (п.2.5.76 ПУЭ-85), а для повторного заземления нулевого провода – для любого времени года, т.е. измерения должны проводиться зимой.

Второй особенностью нормирования сопротивлений заземлений электроустановок напряжением 0,38-10 кВ является то, что нормированная ПУЭ величина сопротивления зависит от эквивалентного удельного сопротивления земли ρ . Поэтому мало знать в какой период года надо производить измерения, надо еще знать ρ земли в данный период года.

На площадках, на которых будут строиться подстанции напряжением 35 кВ и выше, а также в местах будущей трассы ВЛ 110 кВ и выше, на стадии предпроектных изысканий выполняются геофизические работы по измерению фактических удельных сопротивлений земли. В сетях 0,38-10 кВ таких работ, как правило, не производится и удельное сопротивление земли в большинстве случаев является неизвестной величиной. Поэтому и допустимое сопротивление для конкретного заземлителя также является величиной неопределенной. Это часто приводит к разногласиям между эксплуатирующими, контролирующими и строительно-монтажными организациями при сопоставлении измеренных значений с нормированными ПУЭ величинами.

Для двух конкретных конструкций заземлителя, в [6] приведены выражения для определения эквивалентного удельного сопротивления земли ρ по результатам замера их сопротивления.

Для однолучевого заземлителя (ЗУ), а также конструкции состоящей из горизонтальных заземлителей, расходящихся под одинаковым углом друг относительно друга, с вертикальными электродами длиной по 2,5 м, установленными через каждые 2,5 м (заземлитель состоящий из базовых элементов по 2,5 м [6]):

$$\rho = (5 + 1,2n) \cdot R_{\text{изм}} \quad (7.1)$$

Для таких же по конструкции заземлителей, но с вертикальными электродами длиной по 5 м, установленными через каждые 5 м (заземлитель состоящий из базовых элементов по 5 м [6]):

$$\rho = (8 + 2,4n) \cdot R_{\text{изм}} \quad (7.2)$$

В выражениях (7.1) и (7.2):

ρ – эквивалентное удельное сопротивление земли на момент измерения сопротивления ЗУ, Ом.м;

n – количество вертикальных стержней в заземлителе (ЗУ), шт.;

$R_{изм}$ – измеренное сопротивление заземлителя (ЗУ), Ом.

Выражения (7.1) и (7.2) справедливы только для указанных выше конструкций заземлителя. Для всех других конструкций заземлителя ρ должно определяться другими способами.

Поскольку измерения приходится выполнять по мере выполнения заземлителей и сдачи их в эксплуатацию независимо от сезона года, часто приходится пересчитывать измеренные сопротивления на те значения, которые они будут иметь в отличный от измерения сезон.

Приведение измеренных величин сопротивления заземлителей к условиям другого сезона осуществляется с помощью сезонного коэффициента сопротивления. Сезонный коэффициент сопротивления показывает, во сколько раз изменится измеренное в данный период года сопротивление по сравнению с другим периодом и каким оно будет в отличный от измерения сезон. Сезонные коэффициенты сопротивления K определяются экспериментально для разных грунтово-климатических условий и разнообразных по форме и размерам заземлителей [6]. Зная K и сезон, когда выполнены измерения, легко находится сопротивление R , которое будет иметь заземлитель в отличный от измерения сезон:

$$R = K \cdot R_{изм} \quad (7.3)$$

Для взаимосвязи двух факторов – сезона нормирования и удельного сопротивления земли, с которыми связана величина нормированного сопротивления, введем понятие коэффициент приведения измеренного сопротивления к нормированному ПУЭ значению – K_R . Известно, что изменение нормируемого сопротивления заземлителя прямо пропорционально изменению

эквивалентного удельного сопротивления земли. Сопротивление заземлителя также прямо пропорционально изменению эквивалентного удельного сопротивления земли. С учетом этой особенности и сезона нормирования найден диапазон $R_{изм}$, для которого коэффициент приведения к нормируемой величине всегда равен 1 и диапазон $R_{изм}$, для которых K_R равен сезонному коэффициенту сопротивления K .

Для заземлителей различных электроустановок напряжением 0,38-10 кВ коэффициенты приведения, указаны в таблицах 7.1 и 7.2. Для определения сопротивления, которое должно сравниваться с нормативным значением, необходимо измеренную величину $R_{изм}$ умножить на K_R , т.е.

$$R = K_R \cdot R_{изм} \leq R_{доп}, \quad (7.4)$$

где R – величина сопротивления заземлителя (ЗУ) приведенная к сезону нормирования, которая сравнивается с нормируемой (допустимой) ПУЭ величиной,

$R_{изм}$ - измеренное значение сопротивления в определенный период года (летом или зимой),

K_R - коэффициент приведения измеренного сопротивления к нормированному ПУЭ сопротивлению;

$R_{доп}$ - нормируемая (допустимая) ПУЭ величина сопротивления.

Таблица 7.1

**Нормированная ПУЭ-85 величина сопротивления заземлений (ЗУ)
для электроустановок напряжением 0,38-10 кВ, Ом**

Таблица составлена на основе пп. 1.7.57, 1.7.59, 1.7.62, 1.7.69, 2.5.70, 4.2.156, 4.2.157, 2.5.75, 2.5.76,
2.5.123, 2.5.133, 1.7.64, 2.4.26, 2.4.43 и табл. 2.5.22 ПУЭ-85.

Тип электроустановки	Сопротивление ЗУ $R_{\text{доп}}$, не более, в земле с эквивалентным удельным сопротивлением, Ом·м						Время года, когда должно обеспечиваться нормированное сопротивление	$K_{\text{з}}$ при измерении сопротивления	
	до 100	от 100 до 250	от 250 до 500	от 500 до 1000	от 1000 до 5000	более 5000		летом	зимой
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТП 6, 10/0,4 кВ с учетом использования естественных и повторных заземлений нулевого провода ВЛ 0,38 кВ при количестве отходящих ВЛ две и более	4	0,04ρ	10				любое время года	1,0 если $R_{\text{изм}} \leq 4 \text{ Ом}^*$	1,0
Заземлитель ТП 6, 10/0,4 кВ, расположенный в непосредственной близости от нейтрали трансформатора	30	0,3ρ			300		лето	1	см. табл. 7.3
РП 6, 10 кВ, разъединительный пункт 6, 10 кВ	10		0,02 ρ		100		любое время года	1,0 если $R_{\text{изм}} \leq 10 \text{ Ом}^*$	1,0
ОПН, разрядники, концевые кабельные муфты напряжением 6, 10 кВ с ОПН	10			15			лето	1,0	См. табл. 7.3

Продолжение табл. 7.1

Тип электроустановки		Сопротивление 3У $R_{з.оп.}$ не более, в земле с эквивалентным удельным сопротивлением, Ом·м						Время года, когда должно обеспечиваться нормированное сопротивление	К _н при измерении сопротивления	
		до 100	от 100 до 250	от 250 до 500	от 500 до 1000	от 1000 до 5000	более 5000		летом	зимой
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Железобетонные и металлические опоры ВЛ 6, 10 кВ	в населенной местности, на подходах к ТП, опоры ограничивающие пролет пересечений	10	15		20	30	0,006ρ	лето	1,0	см. таб 7.3
	в ненаселенной местности	30	0,3ρ							
Повторное заземление нулевого провода ВЛ 0,38 кВ без использования его в качестве грозозащитного	при одном повторном заземлении на ВЛ	10	0,1ρ		100		любое время года	1,0 если $R_{изм} \leq 10 \text{ Ом}^*$	1,0	
	при 2-х	20	0,2ρ		200			1,0 если $R_{изм} \leq 20 \text{ Ом}^*$	1,0	
	при 3-х и более	30	0,3ρ		300			1,0 если $R_{изм} \leq 30 \text{ Ом}^*$	1,0	
Грозозащитное заземление ВЛ 0,38 кВ		30					лето	1,0	см таб 7.3	

*) Для других значений $R_{изм}$ по табл. 7.4.

Таблица 7.2

Предельно допустимое (нормированное) п.1.7.64 ПУЭ-85
сопротивление $R_{\text{доп}}$ повторных заземлений нулевого провода
совмещенных с грозозащитными заземлениями, Ом

Количество повторных заземлений на ВЛ 0,38 кВ	$R_{\text{доп}}$ одного заземлителя		$R_{\text{доп}}$ всей ВЛ		Время года, когда должно обеспечиваться нормированное сопротивление	K_R при измерении	
	Для $\rho \leq 100$, Ом·м	Для $\rho > 100$, Ом·м	Для $\rho \leq 100$, Ом·м	Для $\rho > 100$, Ом·м		летом	зимой
1	10 10	$0,1\rho \leq 30$ $0,1\rho \leq 100$	10 10	$0,1\rho \leq 30$ $0,1\rho \leq 100$	лето зима	1 если $R_{\text{изм}} \leq 10 \text{ Ом}^*$	1
2	20 20	$0,2\rho \leq 30$ $0,2\rho \leq 200$	10 10	$0,1\rho \leq 30$ $0,1\rho \leq 100$	лето зима	1 если $R_{\text{изм}} \leq 20 \text{ Ом}^*$	
3 и более	30 30	30 $0,3\rho \leq 300$	10 10	$0,1\rho \leq 30$ $0,1\rho \leq 100$	лето зима	1 если $R_{\text{изм}} \leq 30 \text{ Ом}^*$	

*) Для других значений $R_{\text{изм}}$ по табл. 7.4.

Таблица 7.3.

Коэффициент K_R для ЗУ, состоящих из базовых элементов
(горизонтальных и вертикальных заземлителей по 2,5 м или 5 м)
при измерении их сопротивления в зимний сезон [6].

Суммарная длина горизонтальных заземлителей, м	2,5	5	7,5	10	12,5	15-25	27-80	80 и более
Количество электродов длиной по 2,5 м, шт.	1	2	3	4	5	6-10	11-32	32 и более
K_R	0,6	0,65	0,67	0,69	0,7	0,74	0,77	0,77
Суммарная длина горизонтальных заземлителей, м	5	10	15	20	25	30 и более		
Количество электродов длиной по 5 м, шт.	1	2	3	4	5	6 и более		
K_R	0,7	0,75	0,77	0,8	0,83	0,83		

Таблица 7.4.

Коэффициент K_R для ЗУ, состоящих из базовых элементов (горизонтальных и вертикальных заземлителей по 2,5 м или 5 м) при измерении их сопротивления в летний сезон [6].

Суммарная длина горизонтальных заземлителей, м	2,5	5	7,5	10	12,5	15-25	27-80	80 и более
Количество электродов длиной по 2,5 м, шт.	1	2	3	4	5	6-10	11-32	32 и более
K_R	1,6	1,55	1,5	1,45	1,4	1,35	1,3	1,3
Суммарная длина горизонтальных заземлителей, м	5	10	15	20	25	30 и более		
Количество электродов длиной по 5 м, шт.	1	2	3	4	5	6 и более		
K_R	1,4	1,35	1,3	1,25	1,2	1,2		

Примеры сопоставления измеренных значений сопротивления ЗУ с нормами ПУЭ

Пример 1. Измеренное сопротивление ЗУ ТП 10/0,4 кВ с двумя отходящими ВЛ 0,38 кВ $R_{изм} = 3,9$ Ом. Время измерения – лето. Эквивалентное удельное сопротивление земли $\rho = 100$ Ом · м. По табл. 7.1. допустимое сопротивление ЗУ для данного ТП $R_{доп} = 4$ Ом в любое время года. Из той же табл. 7.1 для $R_{изм} \leq 4$ Ом $K_R = 1$.

Сопротивление, которое должно сравниваться с $R_{доп}$ будет:

$$R = K_R \cdot R_{изм} = 1 \cdot 3,9 = 3,9 \text{ Ом.}$$

Следовательно $R = 3,9 \text{ Ом} < R_{доп} = 4 \text{ Ом}$ и сопротивление ЗУ ТП 10/0,4 кВ соответствует норме ПУЭ в любое время года.

Пример 2. Измеренное сопротивление ЗУ ТП 10/0,4 кВ с двумя отходящими ВЛ 0,38 кВ $R_{изм} = 9$ Ом. Время измерения – лето, ρ неизвестно. По табл. 7.1 невозможно найти $R_{доп}$, а по табл. 7.4 - K_R . Ответить на вопрос соответствует или не соответствует норме сопротивление ЗУ ТП 10/0,4 кВ невозможно.

Пример 3. Исходные данные примера 2. Только теперь известно, что $\rho = 350$ Ом · м.

Из табл. 7.1 находим $R_{доп} = 10$ Ом, из табл. 7.4 K_R примем 1,3. В состав ЗУ ТП 10/0,4 кВ входят обязательный заземлитель, включающий в себя 2 вертикальных электрода по 2,5 м, 6 фундаментов опор и подкосов ВЛ 0,38 кВ и 10 кВ, заглубленных на 2÷2,2 м, и объединенных между собой горизонтальным заземлителем. Кроме того имеется естественный заземлитель – повторное заземление нулевого

провода ВЛ 0,38 кВ, состоящий из горизонтальных и вертикальных заземлителей. Поэтому K_R не может быть больше 1,3.

Сопротивление, которое должно сравниваться с нормируемым будет:

$$R = K_R \cdot R_{изм} = 1,3 \cdot 9 = 11,7 \text{ Ом}$$

$$R = 11,7 \text{ Ом} > R_{доп} = 10 \text{ Ом.}$$

Следовательно, сопротивление ЗУ ТП 10/0,4 кВ не соответствует норме ПУЭ.

Пример 4. Измеренное сопротивление грозозащитного сопротивления ВЛ 0,38 кВ $R_{изм} = 40 \text{ Ом}$. Время измерения – зима. Заземлитель состоит из 5 базовых элементов, т.е. содержит 5 вертикальных электродов длиной по 2,5 м, объединенные горизонтальным заземлителем суммарной длиной 12,5 м.

Из табл. 7.1 $R_{доп} = 30 \text{ Ом}$ (летом), из табл. 7.3 $K_R = 0,7$. Сопротивление, которое должно сравниваться с $R_{доп}$ будет: $R = K_R \cdot R_{изм} = 0,7 \cdot 40 = 28 \text{ Ом}$.

Следовательно, $R = 28 \text{ Ом} < R_{доп} = 30 \text{ Ом}$ и сопротивление ЗУ соответствует норме ПУЭ.

8. Оформление результатов измерений и необходимые документы на заземляющее устройство

Результаты измерений сопротивления заземлителей (заземляющих устройств) и заключение о соответствии или не соответствии ЗУ предъявляемым к нему требованиям оформляются протоколом измерения сопротивления заземляющего устройства (форма протокола приведена ниже).

При сдаче-приемке в эксплуатацию смонтированных заземляющих устройств должна быть предъявлена следующая техническая документация на каждый объект:

- 1) протокол измерения сопротивления заземляющего устройства;
- 2) акт освидетельствования скрытых работ по монтажу заземляющего устройства и присоединений к естественным заземлителям;
- 3) протокол проверки наличия цепи между заземлителем и заземляемыми элементами;
- 4) схема заземляющего устройства в виде исполнительных чертежей проекта заземляющего устройства с изменениями, внесенными в процессе строительства;

- 5) акт осмотра и проверки состояния открыто проложенных заземляющих проводников (составляется только при необходимости).

Кроме указанных выше документов, для ориентировки в процессе измерений, желательно иметь следующую информацию:

- 1) расчетное сопротивление заземляющего устройства;
- 2) топографический план (топографическую подоснову), на которой указаны подземные коммуникации (трубопроводы всех назначений, кабели и т.п.) в районе производства измерений;
- 3) электрическую структуру земли по предпроектным геофизическим изысканиям.

Белорусский государственный энергетический концерн
«Белэнерго»

_____ организация, выполняющая измерения,

« _____ » _____ 200_г.

ПРОКОТОЛ

измерения сопротивления заземляющего устройства

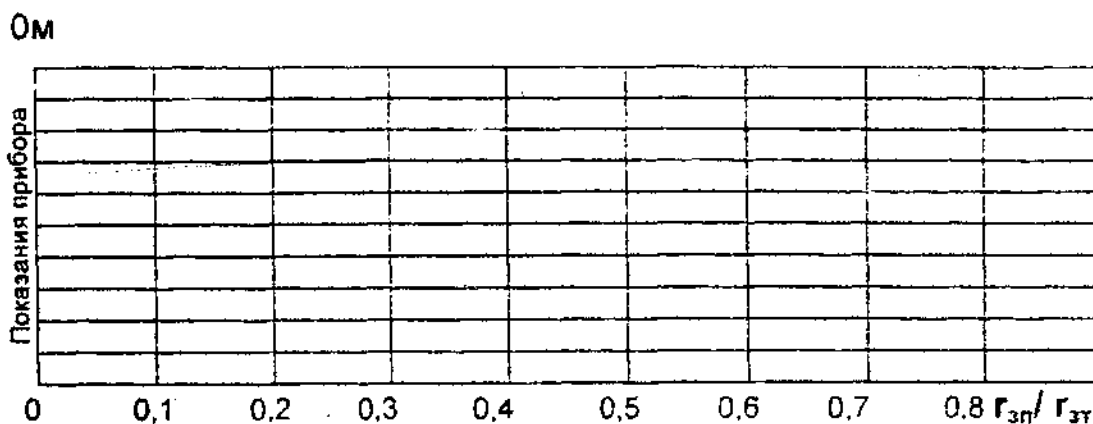
_____ наименование объекта

1. Сезон измерения лето _____ зима
ненужное зачеркнуть

2. Измерительный прибор _____ тип, зав. номер

3. Результаты измерений

Заземляющее устройство	Показания прибора при расстоянии до потенциального электрода, Ом								
	0,1r _{зт}	0,2r _{зт}	0,3r _{зт}	0,4r _{зт}	0,5r _{зт}	0,6r _{зт}	0,7r _{зт}	0,8r _{зт}	0,9r _{зт}
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									
11.									
12.									



Зависимость показаний прибора от положения потенциального электрода

При нескольких заземляющих устройствах в одном объекте такие зависимости строятся для каждого ЗУ в приложении к протоколу.

Измеренное значение сопротивления, Ом

$R_{1изм} =$ _____ $R_{2изм} =$ _____

4. Величина сопротивления заземляющего устройства, приведенная к сезону нормирования $R = K_R \cdot R_{изм}$, Ом

K_R – коэффициент приведения измеренного сопротивления к нормированному ПУЭ сопротивлению берется из табл.7.1-7.4 «Пособия по измерениям сопротивления заземляющих устройств в сетях 0,38-10 кВ». Концерн «Белэнерго», Мн., 2001.

$R_1 =$ _____ $R_2 =$ _____

5. Дополнительные испытания и проверки _____

Заключение _____

Исполнители

Должность

Ф.И.О.

Подпись

9. Особенности измерения сопротивления заземлителей, к которым подсоединены оболочка и броня кабелей

Как указывалось в разделе 1, сопротивление заземлителя растеканию тока – это сопротивление, которое земля оказывает прохождению тока в земле в зоне растекания тока. Сопротивление стальных элементов, из которых состоит заземлитель, несравнимо мало по сравнению с сопротивлением, оказываемым землей, и им без ощутимой погрешности пренебрегают. Такое утверждение справедливо для сосредоточенных заземлителей, какими являются заземлители электроустановок напряжением 0,38-10 кВ. Поэтому практически несущественно, на каком токе производить измерения сопротивления таких заземлителей – на переменном или постоянном. Несколько другая картина наблюдается для протяженных стальных заземлителей длиной несколько километров, какими, в частности, являются бронированные кабели, где проявляется активная и индуктивная составляющая сопротивления элементов протяженного заземлителя, и величина этого сопротивления добавляется к сопротивлению, оказываемому землей в зоне растекания тока. Для таких заземлителей общее сопротивление заземлителя будет складываться из двух составляющих: сопротивления оказываемого землей (основная часть) и сопротивления протяженных стальных элементов. Поэтому для электроустановок переменного тока сопротивление заземлителя (заземляющего устройства), независимо от выполняемых им функций, нормируется по отношению к переменному току промышленной частоты [9]. При этом сопротивление заземлителя, содержащего протяженные стальные элементы, в том числе бронированные кабели, будет определяться как активной, так и индуктивной составляющими. На практике обычно вместо полного сопротивления пользовались активным сопротивлением, которое измеряется измерителем сопротивления МС-08 [4,8,10]. Поскольку индуктивное сопротивление стальных элементов зависит от величины протекающего по ним тока, сопротивление заземляющих устройств, от которых отходят кабели, будут иметь различные сопротивления при измерительном и реальном однофазном токе замыкания на землю. Индуктивное сопротивление кабелей в свинцовой оболочке в 2-3 раза выше активного, а в алюминиевой – в 10-27 раз [4]. Это приводит к отличию измеренного сопротивления заземляющего устройства при токах в несколько миллиампер от фактического при стекании токов промышленной частоты величиной 10-50А. Причем при таких токах фактическое сопротивление заземляющего устройства больше измеренного прибором МС-08 в 1,1-2 раза [4].

Результаты экспериментов [4] показывают, что при всех прочих равных условиях, сопротивление заземляющих устройств, содержащих в

качестве заземляющих проводников и естественных заземлителей броню и алюминиевую оболочку кабелей, на концах которых подключены заземлители потребительских электроустановок, непостоянны и существенно зависят от формы и величины токов, стекающих с этих заземляющих устройств, и их распределения по кабелям. Естественно, что и измерения, выполненные разными методами при различном измерительном токе, дадут разные значения, которые не будут соответствовать истинному сопротивлению, имеющему место в реальном режиме однофазного замыкания на землю.

Отметим, что и реальное сопротивление также не будет постоянной величиной. При каждом замыкании на землю ток замыкания и соответственно стекающий (втекающий) с заземляющего устройства ток будет определяться местом замыкания, величиной переходного сопротивления, степенью компенсации емкостного тока, распределением тока по кабелям, их количеством и другими причинами.

Поэтому следует иметь в виду, что измерения сопротивлений таких заземляющих устройств методом вольтметра-амперметра, приборами МС-08 и Ф4103М1 дают различные значения, которые являются лишь ориентировочной оценкой их реальной величины для каждого конкретного замыкания в сети 6-10кВ.

Невзирая на указанные особенности, сопротивление заземляющих устройств, к которым подсоединены оболочка и броня кабелей, выполняются согласно разделов 3+5 настоящего Пособия. Для более близкого соответствия измеренных и фактических значений сопротивления измерения рекомендуется проводить прибором Ф4103М1, а разносы измерительных электродов следует выполнять под углом близким к 90° к трассам кабелей и иметь в виду, что район трасс кабелей является зоной растекания токов с измеряемого заземляющего устройства. Поэтому, выбирая направление разноса и удаление измерительных (токового и потенциального) электродов от испытуемого заземляющего устройства следует учитывать, что кабели являются частью испытуемого заземляющего устройства, и для близкого к действительности замера необходимо правильно выбрать места установки токового и потенциального электродов. В противном случае реальное сопротивление будет отличаться от измеренного в десятки раз и

не даст реального представления о величине сопротивления заземляющего устройства.

10. Приборы для измерений сопротивления заземляющих устройств

Для измерения сопротивления заземлителей (заземляющих устройств) применяются специальные приборы – измерители сопротивления заземлений. Основным из них и рекомендуемым для практического пользования является измеритель сопротивления заземления Ф4103М1. Прибор выпускается АО Мегометр (20300, Украина, г. Умань, ул. Советская, 49, тел. 52573) и предназначен для измерения сопротивления как простых заземлителей, так и сложных заземляющих устройств действующих и недействующих электроустановок всех классов напряжения.

Положительными особенностями данного прибора являются:

- 1) благодаря конструктивным особенностям его показания практически соответствуют входному сопротивлению ЗУ на частоте 50 Гц, как того требуют ПУЭ и ГОСТ 12.1.030-81, при работе самого прибора на повышенной частоте (265-310 Гц);
- 2) малая трудоемкость производства измерений, т.к. потенциальная и токовая цепи допускают высокие сопротивления измерительных цепей, включая электроды, (1-12 кОм в зависимости от диапазона измеряемых величин);
- 3) на показания прибора не влияют внешние помехи и способ раскладки проводов, идущих к токовому и потенциальному электродам;
- 4) широкий диапазон измеряемого сопротивления, от 0,03 Ом до 15000 Ом;
- 5) простота производства измерений.

Основные характеристики измерителя сопротивлений Ф4103М1 приведены в таблице 10.1, а внешний вид на рис. 10.1.

В энергосистемах и на предприятиях эксплуатируются ранее выпускавшиеся измерители сопротивления заземлений МС-08 и М-416.

Прибор МС-08 практически удовлетворяет всем требованиям измерения сопротивления и может применяться для измерений сопротивлений в электроустановках всех классов напряжения без каких-либо ограничений. Следует, однако, помнить, что его показания будут заниженными при измерении протяженных заземлителей с индуктивным сопротивлением (см. раздел 9).

Существенным недостатком измерительного прибора МС-08 является то, что для производства измерений требуется низкое сопротивление токового (до 250 Ом на диапазоне измерения 0-10 Ом, до 500 Ом на диапазоне 0-100 Ом и до 1000 Ом на диапазоне 0-1000 Ом) и потенциального (до 1000 Ом на всех диапазонах) электродов. Процесс обеспечения таких сопротивлений трудоемкий и длительный, а иногда вообще невозможно добиться работы прибора в грунтах с высоким удельным сопротивлением земли. По этой причине прибор МС-08 не рекомендуется для измерения сопротивлений в сетях 0,38-10 кВ.

Показания прибора М416 зависят от взаимного расположения и длины проводов потенциальной и токовой цепей, сопротивления потенциального электрода, года выпуска прибора, удельного сопротивления земли, в которой расположен заземлитель. Прибор не защищен от внешних и внутренних электромагнитных наводок. Измерения проводятся на частоте 800-1125 Гц, далеких от требуемых ПУЭ 50 Гц. Поскольку показания М416 зависят от вышеперечисленных факторов, то даже при измерении одного и того же заземлителя его показания могут резко отличаться друг от друга [10].

Поэтому прибором М416 нельзя пользоваться для измерения сопротивления заземлителей действующих и недействующих электроустановок.

**Основные характеристики измерителя
сопротивления заземления Ф4103М1**

Показатели 1	Значение 2
Диапазоны измеряемых сопротивлений, Ом	0 - 0,3 0 - 100
	0 - 1,0 0 - 300
	0 - 3,0 0 - 1000
	0 - 10 0 - 3000
	0 - 30 0 - 15000
Допустимое сопротивление токовой цепи (с электродом) на диапазонах, Ом 0 - 0,3; 0 - 1,0 0 - 3,0; 0 - 10 0 - 30 и всех последующих диапазонах	1000 Ом 3000 Ом 6000 Ом
Допустимое сопротивление потенциальной цепи (с электродом) на диапазонах, Ом 0 - 0,3; 0 - 1,0 0 - 3,0; 0 - 10 0 - 30 и всех последующих диапазонах	2000 Ом 6000 Ом 12000 Ом
Класс точности на диапазоне 0 - 0,3 на всех остальных диапазонах	± 4% ± 2,5%
Частота измерительного тока	265-310 Гц
Устойчивость к помехам промышленной частоты и кратных ей гармоникам на диапазоне 0 - 0,3 на всех остальных диапазонах	3 В 7 В
Время установления показаний в положении ИЗМ1 и ИЗМ2	не более 6 и 30 с
Переменное напряжение на зажимах Т1 и Т2 при разомкнутой внешней цепи	от 30 до 40 В
Питание	9 элементов типа 373 (А373) или от внешнего источника постоянного тока напряжением 11,5-15В
Ток потребления от источников питания	не более 180 мА
Габариты	305x125x155 мм
Масса	не более 2,2 кг
Рабочий диапазон температур	минус 25°С++55°С
Относительная влажность при температуре 30°С	90%
Норма средней наработки на отказ	7250 час
Средний срок службы	10 лет

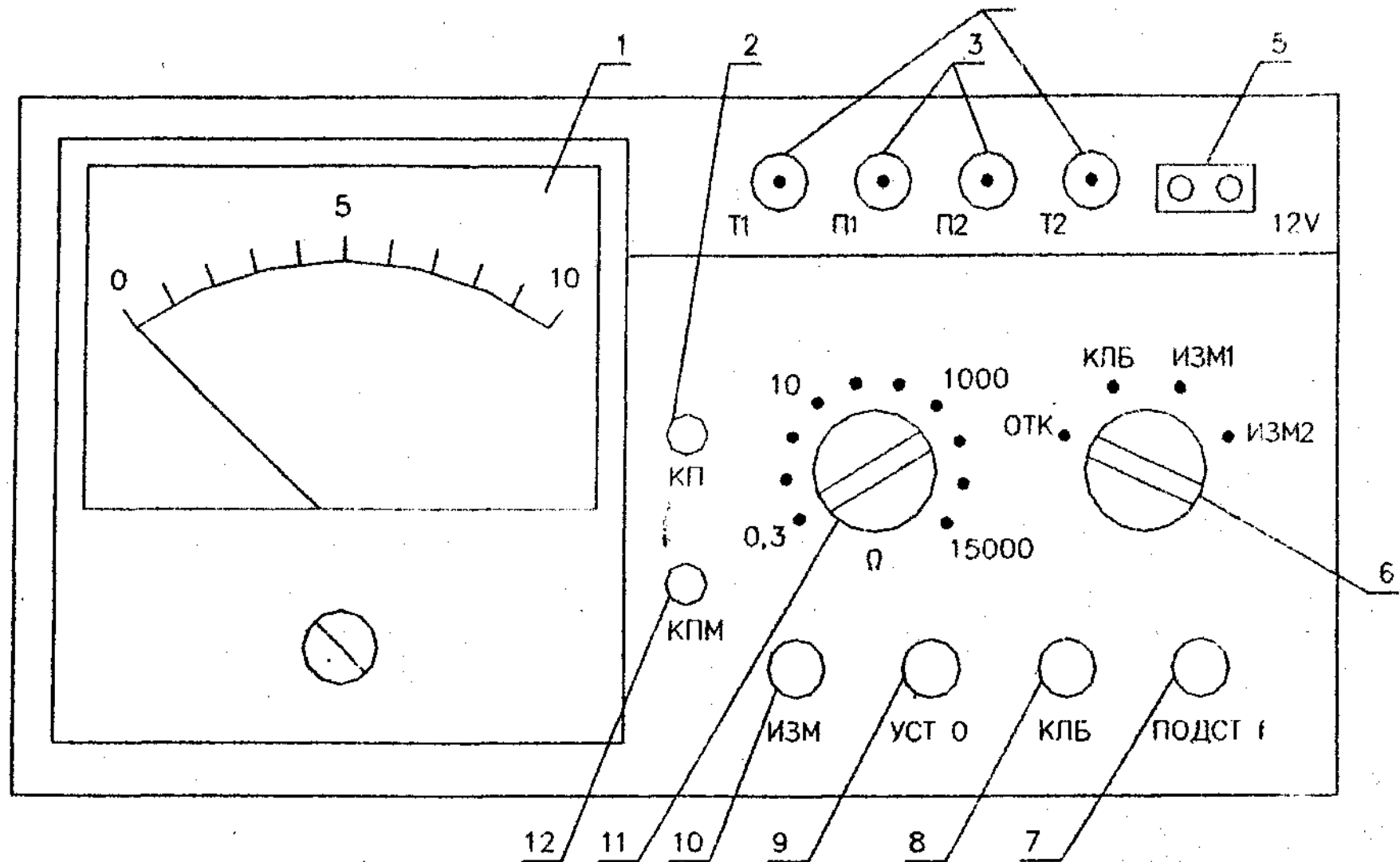


Рис. 10.1. Внешний вид измерителя сопротивления заземления Ф4103М1

1 - показывающий прибор; 2 - контроль питания; 3 - потенциальные клеммы; 4 - токовые клеммы;
 5 - розетка подключения внешнего питания; 5 - переключатель "род работы"; 7 - ручка подстройки
 частоты измерительного тока; 8 - ручка калибровки; 9 - ручка установки нуля; 10 - кнопка включения
 режима измерений; 11 - переключатель пределов измерения; 12 - индикатор помех.

11. Требования техники безопасности

11.1. Измеритель Ф4103М1 является безопасным.

Работы по измерениям сопротивления заземляющих устройств действующих электроустановок (распределительных устройств, трансформаторных подстанций, опор ВЛ и пр.) напряжением выше 1 кВ выполняются в соответствии с «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок электрических станций и подстанций».

11.2. Работы по измерениям сопротивления заземляющих устройств действующих электроустановок 6-10 кВ выполняются по распоряжению или наряду двумя лицами, одно из которых имеет IV квалификационную группу по технике безопасности.

11.3. При измерениях сопротивления ЗУ без снятия напряжения на действующих электроустановках 6-10 кВ и вынесенных за пределы электроустановки токового и потенциального электродов не исключено попадание исполнителя под полный потенциал заземляющего устройства при однофазном замыкании на землю в электроустановке или высоковольтной сети, случившимся во время измерений. Попадание под полный потенциал, который может составить порядка 100 В и более, возможно при одновременном касании измерительных проводов и заземляющего устройства в момент однофазного замыкания. Поэтому при сборке измерительных схем следует свести к минимуму время одновременного касания заземляющего устройства и измерительных проводов, подключенных к токовому и потенциальному электродам. Для исключения возможности попадания под потенциал заземлителя необходимо соблюдать следующую последовательность подсоединения проводов токовой и потенциальной цепи. Сначала собирают схему измерения без подсоединения прибора к испытуемому ЗУ. Подключают прибор к ЗУ в диэлектрических перчатках.

Все дальнейшие операции при подсоединениях и отсоединениях измерительных проводов к прибору (катушкам) выполняют в диэлектрических перчатках: при перемене места потенциального электрода, при проверке наличия помех, при проверке сопротивления потенциального электрода.

Разборку измерительной цепи производят в обратном порядке: сначала провода (провод) отсоединяют от заземлителя (отсоединение производят в диэлектрических перчатках), затем от прибора. В последнюю очередь провода отсоединяют от потенциального и токового электродов, после чего производится наматывание проводов на катушки. Такой порядок действия во много раз снижает время соприкосновения одновременно с измерительными электродами и с заземляющим устройством, тем самым исключает возможность попадания под напряжение (потенциал) заземляющего устройства.

11.4. Запрещается производить измерение сопротивления без снятия напряжения в действующих электроустановках и на отходящих от них линиях 6-10 и 0,38 кВ при наличии однофазного замыкания в сети 6-10 кВ.

11.5. Запрещается производить измерение сопротивления без снятия напряжения в действующих электроустановках 6-10 кВ и на отходящих от них линиях 6-10 и 0,38 кВ при производстве оперативных переключений на стороне 6-10 кВ, т.к. при таких переключениях появляется вероятность возникновения короткого замыкания.

11.6. Запрещается производить измерение сопротивления заземляющих устройств действующих и недействующих электроустановок напряжением 6-10 и 0,38 кВ во время грозы, дождя, мороси, мокрого снега и тумана, сильного ветра, а также в темное время суток.

Список использованных источников

1. Назначение заземлений и их выполнение в сетях 0,38-10 кВ, ГП «Белэнергосетьпроект» арх. № 15305тм-т1, Мн., 2000.
2. Измерение параметров заземляющих систем. Ю.В. Целебровский, М.Файдт, В. Яблонски, П. Поспишил. Информэнерго, М., 1978.
3. Гончарик Е.П., Глушко В.И., Ковалев Э.П., Ямный О.Е. Измерение сопротивления сложных заземлителей. Энергетическое строительство, № 2, 1982.
4. Куприянович Ю.М., Гончарик Е.П. Об измерении сопротивления заземляющих устройств. Электрические станции, № 9, 1980.
5. Методические указания по измерениям напряжений прикосновения и сопротивления заземляющих устройств подстанций 35 кВ и выше. Минэнерго Р.Б., Мн., 1994.
6. Методические указания по применению сезонных коэффициентов заземляющих устройств электроустановок напряжением 0,38-10 кВ в Белорусской энергосистеме, Мн., 1999.
7. Заземления на линиях электропередачи напряжением 0,38-10 кВ и трансформаторных подстанциях напряжением 10/0,4 кВ, арх. № 15256тм-т1, Мн., 1999.
8. Тер-Оганесян И.М. О некоторых особенностях измерения сопротивлений приборами типа МС-07. Промышленная энергетика, № 2, 1957.
9. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 6 издание, 1985.
10. Разработка помехоустойчивого способа эксплуатационного контроля сопротивления заземлений сельских электроустановок. Диссертация А.М.Радуцкого на соискание ученой степени к.т.н. Алма-Ата, 1988.
11. Паспорт Ба2.729.008 ПС. Измеритель сопротивления заземлений Ф 4103-М1.