

«УТВЕРЖДАЮ»

« » 20 г.

МЕТОДИКА

измерения сопротивления заземляющего устройства

Содержание	стр.
1. Область применения	3
1.2 Объем и нормы испытаний	3
1.3 Термины и определения	3
2. Объект измерений	5
3. Средства измерений и требования к ним	7
4. Условия проведения измерений и испытаний	7
5. Правила безопасности при проведении измерений и испытаний	7
6. Порядок подготовки к выполнению измерений	8
7. Порядок проведения испытаний и измерений	11
7.1 Проверка элементов заземляющего устройства	11
7.2 Измерение сопротивления заземляющих устройств	12
7.3 Измерение сопротивления ЗУ прибором М-416	14
7.4 Измерение удельного сопротивления грунта	15
8. Обработка результатов измерений	15
8.1 Методика расчета погрешности прибора М-416	16
9. Оформление результатов измерений	16
10. Форма протокола	17

1. Область применения.

1.1 Целью проводимых работ и в соответствии является определение соответствия характеристик заземляющего устройства (ЗУ) требованиям обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала и обеспечения в нормальных и аварийных условиях следующие эксплуатационные функции электроустановки:

- действие релейных защит от замыкания на землю;
- действие защит от перенапряжений;
- отвод в грунт токов молнии;
- отвод рабочих токов (токов несимметрии и т.д.);
- защиту изоляции низковольтных цепей и оборудования;
- снижение электромагнитных влияний на вторичные цепи;
- защиту подземного оборудования и коммуникаций от токовых перегрузок;
- стабилизацию потенциалов относительно земли и защиту от статического электричества;
- обеспечение взрыво- и пожаробезопасности.

1.2. Объем и нормы испытаний:

- проверка элементов заземляющего устройства;
- измерение сопротивления заземляющих устройств.

1.3. Термины и определения.

Заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

Рабочее (функциональное) заземление - заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электро- безопасности).

Защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ — преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Заземление используется для установки и поддержания потенциала подключенной цепи или оборудования максимально близким к потенциалу земли. Цепь заземления образована проводником, зажимом или соединением, с помощью которого проводник подключен к электроду, электродом и грунтом вокруг электрода. Заземлитель или заземляющее устройство может быть подключено к главной заземляющей шине.

Главная заземляющая шина - шина, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки до 1 кВ и предназначенная для присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

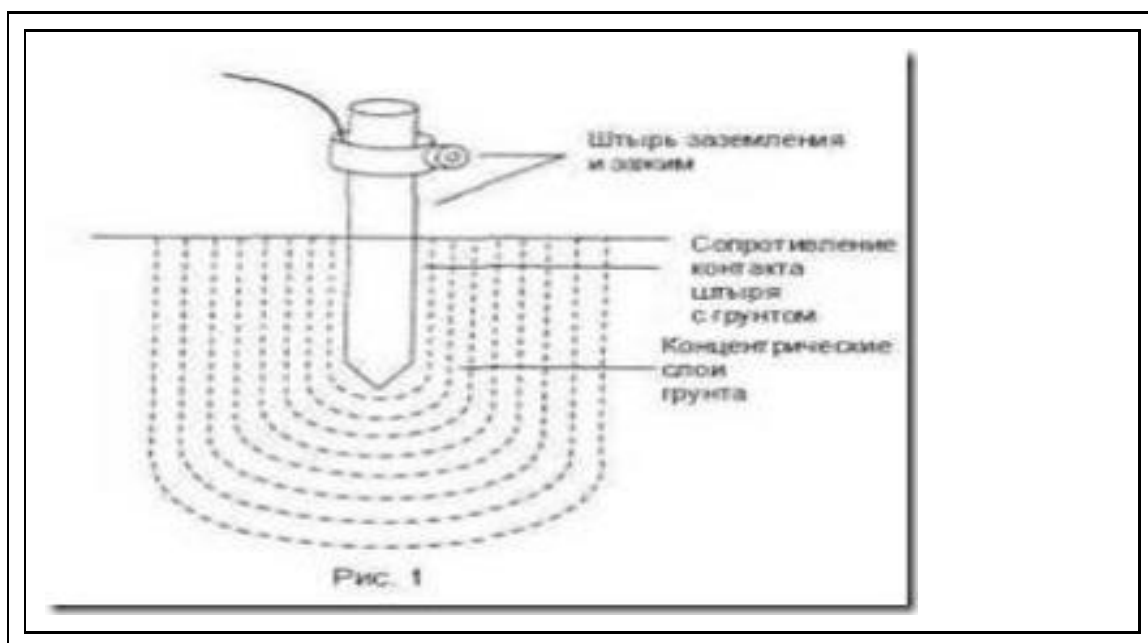
Уравнивание потенциалов - электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов.

Защитное уравнивание потенциалов - уравнивание потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности.

Заземление широко используется с целью электрической защиты в случае повреждения изоляции электрооборудования.

Низкое сопротивление цепи заземления обеспечивает стекание тока пробоя на землю и быстрое срабатывание защитных аппаратов.

Рисунок 1



В результате постороннее напряжение как можно быстрее устраняется, чтобы не подвергать его воздействию персонал и оборудование.

Чтобы наилучшим образом фиксировать опорный потенциал аппаратуры в целях ее защиты от статического электричества и ограничить уровень напряжения на корпусе оборудования для защиты персонала, идеальное сопротивление цепи заземления должно быть равно нулю, что в действительности не возможно, так как это сопротивление зависит от многих факторов.

На рисунке 1 показан заземляющий штырь, как составная часть заземляющего контура. Его сопротивление определяется следующими компонентами:

- а) сопротивление металла штыря и сопротивление контакта проводника со штырем;
- б) сопротивление контакта штыря с грунтом;

в) сопротивление поверхности земли протекающему току, иначе говоря, сопротивление земли, которое часто является самым важным из перечисленных слагаемых.

Обычно заземляющий штырь выполняется из хорошо проводящего металла (металлический электрод из уголка или трубы без какого-либо покрытия, а также электроды из меди) и клеммой соответствующего качества (чаще всего вместо клеммы соединения выполняют методом сварки), поэтому сопротивлением штыря и его контакта с проводником можно пренебречь.

Сопротивлением контакта электрода с грунтом можно пренебречь, если электрод плотно вбит и на его поверхности нет краски, масла и подобных веществ. Остался последний компонент – сопротивление грунта. Можно представить, что электрод окружен концентрическими слоями грунта одинаковой толщины. Ближний к электроду слой имеет наименьшую поверхность, но наибольшее сопротивление. По мере удаления от электрода поверхность слоя увеличивается, а его сопротивление уменьшается. В конечном счете, вклад сопротивления удаленных слоев в сопротивление поверхности грунта становится незначительным. Область, за пределами которой сопротивлением слоев земли можно пренебречь, называется областью эффективного сопротивления. Ее размер зависит от глубины погружения электрода в грунт.

2. Объект измерений.

Объектами испытаний и измерений, проводимых по данной методике, являются: заземляющие устройства (заземлители в случае применения одиночных электродов), проводники уравнивания потенциалов (за исключением РЕ — и PEN – проводников, входящих в состав кабеля в качестве отдельной жилы), главная заземляющая шина и грунт в районе установки заземляющих устройств.

В качестве искусственных заземлителей применяются:

-углублённые заземлители – полосы или круглая сталь, укладываемые горизонтально на дно котлована или траншеи в виде протяжённых элементов;

-вертикальные заземлители – стальные ввинчиваемые или вбиваемые стержни диаметром 12-16 миллиметров, угловая сталь с толщиной стенки не менее 4 миллиметров или стальные трубы (некондиционные с толщиной стенки не менее 3,5 миллиметров). Длина ввинчиваемых электродов, как правило, 4,5-5 метров, забиваемых уголков и труб 2,5-3метра. Верхний конец вертикального электрода должен быть на расстоянии 0,6-0,7 метров от поверхности земли. Расстояние от одного электрода до другого должно быть не менее его длины.

-горизонтальные заземлители – стальные полосы толщиной не менее 4 миллиметров или круглая сталь диаметром не менее 10 миллиметров. Эти заземлители применяются для связи вертикальных заземлителей и как самостоятельные заземлители .

Электроды и заземляющие проводники не должны иметь окраски, должны быть очищены от ржавчины, следов масла и т.п. В местах сварки металл защищается от коррозии с помощью покрытий из лака.

Металлические части зданий должны быть объединены в единое целое для создания общего контура заземления. Соединение должно выполняться сваркой. Общий контур здания соединяется с заземлителем двумя отдельными проводниками. Внутри здания соединение контура заземления с оборудованием, которое подвергается заземлению.

Соединение оборудования с магистралью заземления внутри здания выполняется с помощью отдельного проводника, сечение которого должно быть равно сечению фазной жилы провода или кабеля, применяемых для питания данного электрооборудования и, кроме того, соответствовать условиям приведённым в таблице 1. Минимальное сечение заземляющего проводника внутри здания составляет 2,5 миллиметров квадратных по меди, при условии, что защитный проводник не входит в состав кабеля и имеет защиту от механического повреждения и 4 миллиметра, если таковой защиты нет.

Таблица 1

Сечение фазных проводников, (мм ²)	Наименьшее сечение защитных проводников, (мм ²)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

При использовании заземляющих проводников для целей молниезащиты или защиты от статического электричества и одновременно для защитного заземления электрооборудования не допускается использование посторонних металлических и железобетонных конструкций. Для этих целей необходимо применять специальные заземляющие проводники.

Части, подлежащие заземлению, должны быть присоединены к заземляющему устройству отдельным проводником. Последовательное включение в заземляющий проводник частей, подлежащих заземлению, не допускается.

Оборудование должно иметь специальные болты или металлические пластины для подключения заземляющих проводников, которые должны иметь обозначения по ГОСТ 21130-75. Не допускается использовать установочные или крепежные болты для присоединения заземляющих проводников.

3. Средства измерений и требования к ним.

3.1. От правильности выбора метода измерения и измерительного прибора зависят качество оценки оборудования, правильность заключения о пригодности его к эксплуатации и надежность его работы.

Методы измерений разделяют на прямые и косвенные. На практике измерения производятся чаще всего методом непосредственной оценки по предварительно отградуированному прибору или методом сравнения. Оба метода относят к прямым измерениям. Их популярность связана с большей простотой, а главное с наибольшей точностью в первую очередь метода сравнения по отношению к косвенным измерениям.

3.2. При проведении измерений сопротивления ЗУ и удельного сопротивления грунта используется измеритель сопротивления заземления М-416

4. Условия проведения измерений и испытаний.

4.1. Измерение сопротивления заземляющих устройств согласно ПТЭЭП производится в момент максимального пересыхания грунта. В зонах вечной мерзлоты измерения производят в момент максимального промерзания грунта.

Предыдущее условие не всегда выполнимо, особенно при проведении приемосдаточных испытаний. В этом случае в РД153-34.0-20.525-00 пункт 2.4 рекомендуется использовать сезонный коэффициент K_c (приложение №3 пункт 1 РД153-34.0-20.525-00).

Сопротивление $R_{ЗУ}$ определяется по формуле:

$$R_{ЗУ} = K_c \times R_{ЗУ \text{ изм.}}$$

где $R_{ЗУ \text{ изм}}$ — сопротивление ЗУ, полученное при измерениях.

5. Правила безопасности при проведении измерений и испытаний.

Работы по измерениям характеристик ЗУ должны производиться в соответствии с действующими Правилами охраны труда при эксплуатации электроустановок. Работы по измерениям электрических характеристик следует выполнять по нарядам, распоряжениям.

Численный состав бригады должен быть не менее двух человек: производитель работ с группой по электробезопасности не ниже IV и член бригады с группой по электробезопасности не ниже III при измерении в действующих распределительных устройствах (РУ) напряжением выше 1000В или производитель работ с III группой по электробезопасности и член бригады со III группой по электробезопасности при измерениях в РУ напряжением до 1000В, а также до подключения электроустановок к сети электроснабжения.

При измерениях на действующих энергообъектах с использованием вынесены токовых и потенциальных электродов должны приниматься меры к защите от воздействия полного напряжения на заземлителе при стекании с него тока однофазного КЗ на землю. Персонал, производящий измерения, должен работать в диэлектрических ботах, диэлектрических перчатках, пользоваться инструментом с изолированными ручками. При сборке измерительных схем следует сначала присоединять провод к вспомогательному электроду (токовому, потенциальному) и лишь затем к соответствующему измерительному прибору.

6. Порядок подготовки к выполнению измерений.

При проведении мероприятий по подготовки к выполнению измерений следует выполнить следующие работы:

- определить объем конкретного испытания, поскольку испытания подразделяются на приемосдаточные; испытания при капитальном ремонте и текущем ремонте. Периодичность испытаний регламентируется в ПТЭЭП прил.3. п.26 (См. таб.2)

Таблица 2.

НОРМЫ ИСПЫТАНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Наименование испытания	Вид испытания	Нормы испытания	Указания
26.3. Проверка состояния элементов заземляющего устройства, находящихся в земле:	М	Проверка коррозионного состояния производится не реже 1 раза в 12 лет. Элемент заземлителя должен быть заменен, если разрушено более 50% его сечения	
1) электроустановок, кроме ВЛ		Проверка заземлителей в ОРУ электростанций и подстанций производится выборочно, в местах наиболее подверженных коррозии, а также вблизи мест заземления нейтралей силовых трансформаторов, присоединений разрядников и ограничителей перенапряжений	В ЗРУ осмотр элементов заземлителей производится по решению технического руководителя Потребителя

2) ВЛ		На ВЛ выборочная проверка со вскрытием грунта производится не менее чем у 2% опор от общего числа опор с заземлителями	Проверку следует производить в населенной местности, на участках с наиболее агрессивными, выдуваемыми и плохопроводящими грунтами
26.4. Измерение сопротивлений заземляющих устройств:			
1) опор воздушных линий электропередачи	К, Т, М	Значения сопротивлений заземлителей опор приведены в табл.35 (Приложение 3.1)	Производятся ежегодно на опорах с разъединителями, защитными промежутками, разрядниками, повторным заземлением нулевого провода и другим электрооборудованием и выборочно 2% металлических и железобетонных опор на участках в населенной местности. Измерения производятся также после реконструкции и ремонта заземляющих устройств, а также при обнаружении разрушения или следов перекрытия изоляторов электрической дугой
2) электроустановок, кроме воздушных линий электропередачи	К, Т, М	Значения сопротивлений заземляющих устройств электроустановок приведены в табл.36 (Приложение 3.1)	

Примечание:

1.К,Т,М — производятся в сроки, установленные системой ППР, с учетом указаний п.26.1...26.4, но Т не реже 1 раза в 3 года согласно ГОСТ Р50571.16-2007.

2. проверка состояния устройств молниезащиты — один раз в год перед началом грозового сезона;
- по паспорту ЗУ определить геометрические размеры заземлителей влияющие на схему расположения электродов средства измерений.
 - сформировать схемы расположения электродов вспомогательного заземлителя и зонда относительно испытываемого заземлителя

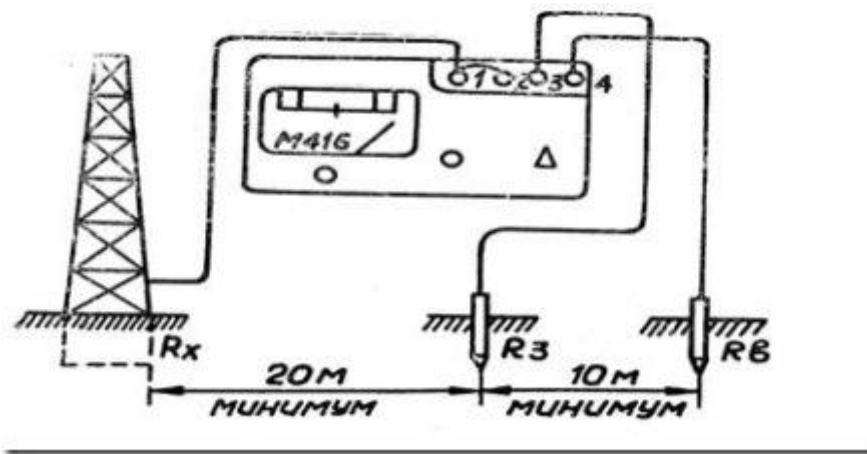


Рис.2. Подключение прибора М-416 по трехзажимной схеме к одиночному заземлителю.

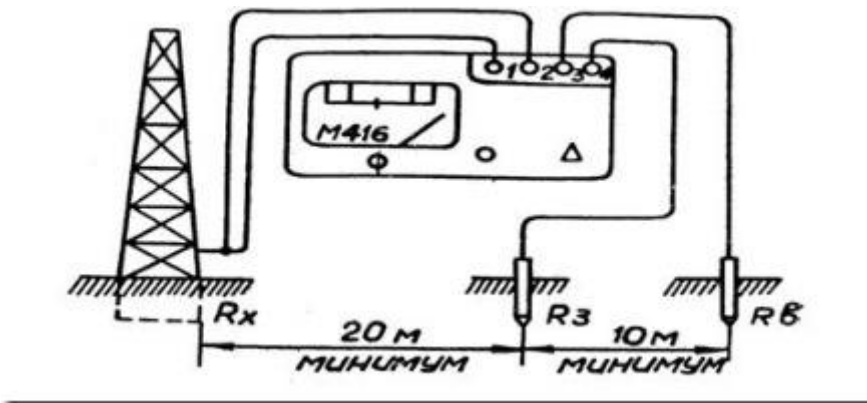


Рис.3. Подключение прибора М-416 по четырехзажимной схеме к одиночному заземлителю.

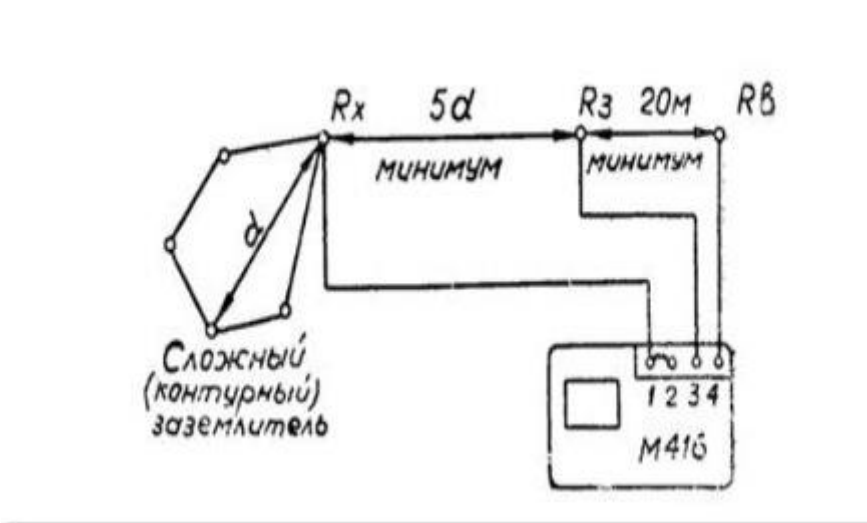


Рис.4. Подключение прибора М-416 по трехзажимной схеме к сложному (контурному) заземлителю

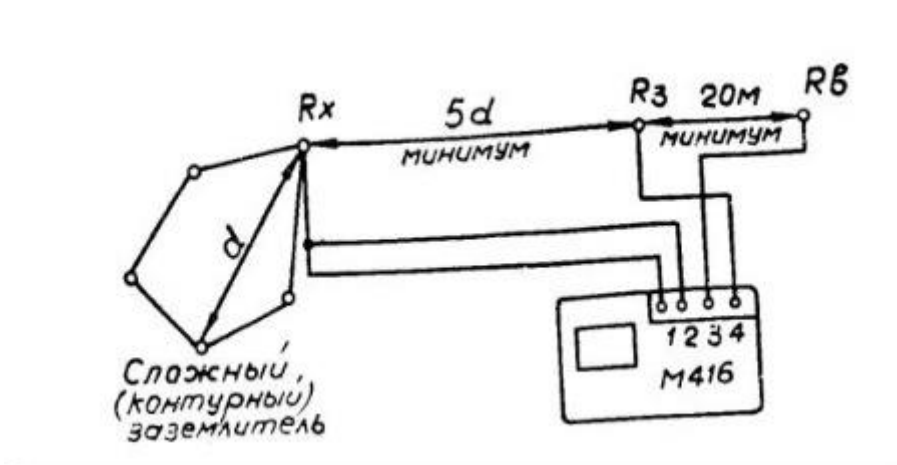


Рис.5. Подключение прибора М-416 по четырехзажимной схеме к сложному (контурному) заземлителю.

· подготовить прибор к проведению измерений:
установить прибор на ровной поверхности и открыть крышку;
установить переключатель в положение «Контроль 50м», нажать кнопку и вращением ручки «Реохорд» добиться установки стрелки индикатора на нулевую отметку. На шкале при этом должно быть показание $5 \pm 0,3$ Ом при нормальных климатических условиях и нормальном напряжении источника питания. Нормальное напряжение питания от 3,8В до 4,8В.

В схемах рис.2 и 4 к сопротивлению измеряемого заземлителя добавляются сопротивления соединительных проводов, что делает измерение менее точным и допустимо при измерении сопротивлений более 1 Ом. В схемах рис.3 и 5 сопротивление соединительных проводов компенсируется и измерение более точное. d на этих схемах наибольшая диагональ контура измеряемого заземляющего устройства в метрах.

7. Порядок проведения испытаний и измерений.

При проведении испытаний перед вводом в эксплуатацию ЗУ необходимо следовать порядку приведенному в ПУЭ гл.1.8 п.1.8.39

7.1. Проверка элементов заземляющего устройства.

Проверку следует производить путем осмотра элементов заземляющего устройства в пределах доступности осмотра. Сечения и проводимости элементов заземляющего устройства, включая главную заземляющую шину, должны соответствовать требованиям ПУЭ гл.1.7 и проектным данным.

7.2. Измерение сопротивления заземляющих устройств.

Значения сопротивления заземляющих устройств с подсоединенными естественными заземлителями должны удовлетворять значениям, приведенным в соответствующих главах ПУЭ и таблице 5.

Таблица 5

Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств

Вид электроустановки	Характеристика электроустановки	Сопротивление, Ом
1. Подстанции и распределительные пункты напряжением выше 1 кВ	Электроустановки электрических сетей с глухозаземленной и эффективно заземленной нейтралью.	0,5
Электроустановки электрических сетей с изолированной нейтралью, с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор.	$250/I_p^*$	
2. Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1кВ	Заземляющие устройства опор ВЛ (см. также 2.5.129-2.5.131) при удельном сопротивлении грунта, ρ , Ом·м:	
- до 100	10	
- более 100 до 500	15	
	- более 500 до 1000	20
	- более 1000 до 5000	30
	- более 5000	$\rho \cdot 6 \cdot 10^{-3}$
Заземляющие устройства опор ВЛ с разрядниками на подходах к распределительным устройствам с вращающимися машинами	см. главу 4.2	
3. Электроустановки напряжени-	Электроустановки с источника-	

ем до 1 кВ	ми питания в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью (или средней точкой) источника питания (система TN):	
	- в непосредственной близости от нейтрали	15/30/60**
	- с учетом естественных заземлителей и повторных заземлителей отходящих линий	2/4/8**
Электроустановки в электрических сетях с изолированной нейтралью (или средней точкой) источника питания (система IT)	50/ I^{***} , более 4 Омне требуется	
4. Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ	Заземляющие устройства опор ВЛ с повторными заземлителями PEN (PE) — проводника	30

I_p^* — расчетный ток замыкания на землю;

** — соответственно при линейных напряжениях 660, 280, 220 В;

I^{***} — полный ток замыкания на землю.

При проведении испытаний после текущего или капитального ремонта необходимо пользоваться порядком приведенным в таблице 2. Нормируемые величины параметров заземляющих устройств в этом случае определены в ПТЭЭП прил.3.1 таблица 35 и 36.

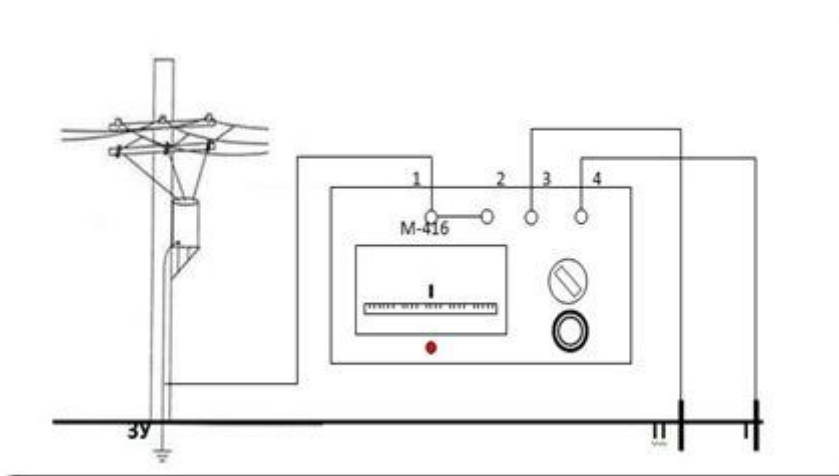


Рис.6 Схема для измерения сопротивления ЗУ

7.3 Измерение сопротивления ЗУ прибором М-416.

Принцип работы прибора основан на сравнении разности потенциалов, на измеряемом сопротивлении и на эталонном. В момент равенства сравниваемых напряжений ток в цепи индикатора будет равен нулю. Прибор снабжен шкалой, позволяющей непосредственно определять значение измеряемого сопротивления.

Измерение прибором может производиться как по трехзажимной схеме (рис.6, измерение сопротивлений более 500 Ом), так и по четырехзажимной (в этом случае переключатель между клеммами 1 и 2 снимается, а к щупу присоединяемому к ЗУ идет два проводника от клеммы 1 и клеммы 2, благодаря чему происходит компенсация влияния сопротивления соединительных проводов при проведении измерений менее 500 Ом).

При измерении по однолучевой схеме (рис.3) расстояние от заземлителя до зонда (R_3) должно быть не менее $5D+20$ м, где D - наибольшая диагональ сложного заземлителя (для простого заземлителя $D=0$), а от зонда до вспомогательного электрода не менее 20 м для сложного заземлителя и 10 м – для простого.

Важное значения для точности измерений имеет сопротивление вспомогательного заземлителя и зонда, а именно, основная погрешность прибора сохраняется в пределах паспортных данных при сопротивлениях вспомогательного заземлителя и зонда не более:

500 Ом в диапазоне измерений 0,1 – 10 Ом;

1000 Ом — 0,5 – 50 Ом;

2500 Ом — 2 – 200 Ом;

5000 Ом — 10 – 1000 Ом.

Измерение сопротивлений электродов производится по схеме рис.5 со следующими изменениями: ставится переключатель и между клеммами 3 и 4, щуп касающийся ЗУ подключается к клемме 2, а один из электродов (например сначала зонд) подключается к клемме 3 и проводится измерение, затем к клемме 3 подсоединяется вспомогательный заземлитель и проводится измерение.

При сопротивлении электродов больше вышеуказанных, его необходимо уменьшить путем увлажнения грунта в месте их забивки или использовать вместо одного несколько соединенных между собой электродов.

Порядок измерения следующий:

Установить переключатель в положение «Контроль 50 Ом», нажать кнопку и вращением ручки «реохорд» добиться установки стрелки индикатора на нулевую отметку, на шкале при этом должно быть показание $5 \pm 0,3$ Ом;

Собрать схему измерения;

Переключатель диапазонов установить в «x1», нажать кнопку и вращением реохорда установить стрелку в нуль.

Если измеряемое сопротивление больше 10 Ом, выбрать другой диапазон.

В качестве электродов применяются металлические стержни диаметром 10-12 мм и длиной 1,2 метра, погруженные в землю на глубину не менее 0,5 метра.

7.4 Измерение удельного сопротивления грунта.

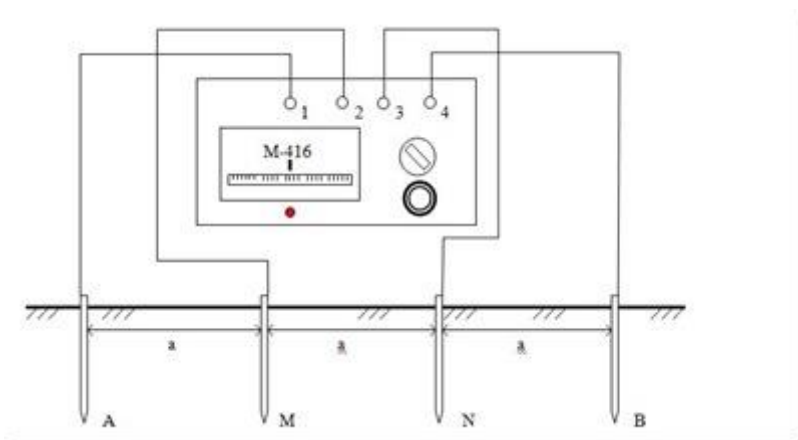


Рисунок 7. Схема для измерения удельного сопротивления грунта методом четырёх электродов.

Измерение удельного сопротивления грунта проводится, когда измеренное сопротивление заземлителя больше проектного (расчетного) значения или не соответствует нормативным требованиям.

В этом случае проверяется допустимая степень этого несоответствия при повышенных удельных сопротивлениях грунта.

Измерения проводятся по методу «вертикального зондирования».

Электроды А, М, N и В устанавливаются на одинаковых расстояниях друг от друга. Целесообразно произвести несколько измерений с изменением расстояния между электродами.

Удельное сопротивление грунта рассчитывается по формуле:

$$\rho = k \cdot R_{\text{изм}},$$

где k – коэффициент, зависящий от расстояния между электродами, который определяется по формуле:

$$k = 2\pi a,$$

где a – расстояние между электродами, которое следует принимать не менее чем в 5 раз больше глубины погружения электродов (m).

8. Обработка результатов измерений.

В процессе проведения испытаний результаты записываются в специальную рабочую тетрадь при строгом следовании перечню испытываемого оборудования.

По окончании измерений необходимо определить погрешность каждого измерения и с учетом ее худший результат из области результатов, определяемый погрешностью измерений занести в протокол соответствующей виду испытаний формы.

8.1. Методика расчета погрешности прибора М-416.

$$\delta_0 = \pm(5 + (N/R_x - 1)), \%$$

где δ_0 – основная погрешность;

N – конечное значение диапазона, Ом;

R_x – измеренное сопротивление, Ом.

Значение основной погрешности соответствует вышеуказанной формуле при сопротивлениях вспомогательного заземлителя и зонда не более:

500 Ом в диапазоне 0,1 – 10 Ом;

1000 Ом в диапазоне 0,5 – 50 Ом;

2500 Ом в диапазоне 2 – 200 Ом;

5000 Ом в диапазоне 10 – 1000 Ом.

Поэтому при проведении измерения сопротивления заземляющего устройства необходимо измерить сопротивления вспомогательного заземлителя и зонда.

Дополнительная погрешность вызванная влиянием блуждающих токов частотой 50Гц не превышает половины основной погрешности.

Определив, таким образом, области величин, в которые попадают наши результаты измерений, заполняем протокол. Сравнивая полученные результаты с нормируемыми величинами, делаем вывод о соответствии или несоответствии полученных результатов требованиям норм или проектной документации.

9. Оформление результатов измерений.

Данные по использованным в процессе измерительных работ приборам, а также результаты измерений заносятся в протокол. Копии протоколов испытаний и измерений подлежат хранению в архиве электролаборатории не менее 6 лет.

Начальник электролаборатории

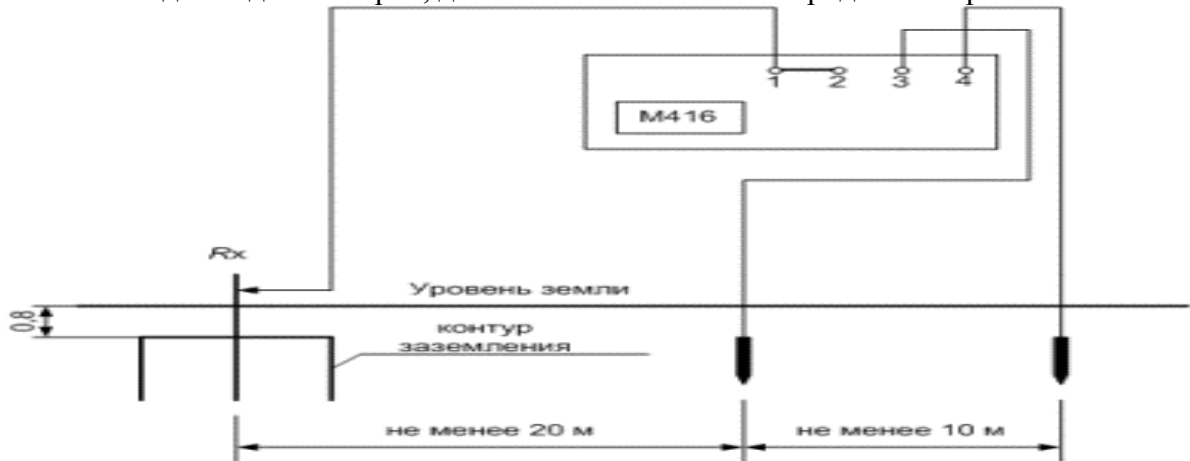
Электрооборудование: _____

Месторасположения: _____

Дата: «__» _____ 20__ г.

ПРОТОКОЛ № _____
ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО КОНТУРА

1. Объект измерения _____
2. Характеристика грунта _____
3. Схема расположения измерительных электродов:
Расстояние до зонда 20 метров, до вспомогательного электрода 10 метров.



Сопротивление растеканию заземлителей, измеренное по приведенной в 3 схеме, составляет _____.

Наличие цепи между заземлителями и заземляющими элементами проверено.

Заключение: На момент проведения испытания сопротивление заземляющего контура соответствует нормам ПТЭЭП (п. 2.7.13) и пригоден для дальнейшей эксплуатации.

ПРИБОРЫ	№ п/п	Наименование прибора	Тип	№ прибора	Класс точности	Дата след. проверки	Примечания
	1						

Испытание производили: _____

Начальник электролаборатории: _____ / _____ /
(Подпись)

Инженер-электрик _____ / _____ /
(Подпись)