



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И
РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА
федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ А.А. ЕЖЕВСКОГО»
(ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ)

Энергетический факультет
Кафедра электроснабжения и электротехники

Практикум по проведению измерений электрических параметров электроустановок на демонстрационных стендах фирмы SONEI



Молодёжный 2021

УДК 621.317(076.5)

П 691

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Иркутского ГАУ им. А. А. Ежевского (протокол № 4 от 31.05.2021 г)

Авторы: **Иванов Д.А., Лукина Г.В., Подъячих С.В., Федоринова Э.С., Якупова М.А.**

Рецензенты:

Чернов Д.В. – к.т.н., инженер проектировщик 1 категории сектора Первичные соединения «ЗАО ЭЛЕКТРОСЕТЬПРОЕКТ».

Очиров В.Д. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Энергообеспечения и теплотехники» ИрГАУ.

Практикум по проведению измерений электрических параметров электроустановок на демонстрационных стендах фирмы SONEL / Д. А. Иванов, Г. В. Лукина, С. В. Подъячих [и др.] ; Иркут. гос. аграр. ун-т им. А. А. Ежевского. – Молодёжный : Изд-во ИрГАУ, 2021. – 151 с. : ил. – Текст : электронный.

Практикум соответствует требованиям ФГОС ВО подготовки бакалавров и магистров по направлениям 13.03.02 и 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, Агроинженерия 35.03.06 и 35.04.06 очной и заочной формам обучения.

Включает методику, измерение параметров электрической сети и практическое решение задач по дисциплине «Электробезопасность», и другим дисциплинам, связанным с электрическими измерениями в электроэнергетических системах. Рассмотрены методы измерения и расчета защитного заземления и зануления, приведены методика и последовательность их расчетов. Представлены задачи для более глубокого изучения отдельных разделов электробезопасности. Предусматривается решение задач в аудитории под руководством преподавателя, а также самостоятельно при работе над курсом. Дополнительно приводится информация из руководства по эксплуатации по проведению электрических измерений параметров на демонстрационных стендах фирмы SONEL.

Практикум может применяться студентами других электроэнергетических специальностей и направлений. Так же может быть полезен для специалистов в области электроэнергетики.

© Иванов Д.А., Лукина Г.В., Подъячих С.В., Федоринова Э.С., Якупова М.А., 2021

© Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ		5
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ		6
1	ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ	10
1.1	Основные причины электротравматизма.....	10
1.2	Действие электрического тока на организм человека....	12
1.3	Основные факторы, влияющие на исход поражения электрическим током.....	13
1.4	Причины поражения электрическим током.....	21
1.5	Растекание тока в земле. Напряжение шага. Напряжение прикосновения.....	22
2	ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НА ДЕМОНСТРАЦИОННОМ СТЕНДЕ ДВ - 1	29
2.1	Общая характеристика демонстрационного стенда ДВ-1.....	29
2.2	Практическая работа 1. <i>Измерение сопротивления петли короткого замыкания</i>	28
2.3	Практическая работа 2. <i>Измерение параметров выключателей дифференциального тока (УЗО)</i>	32
2.4	Практическая работа 3: <i>Измерение сопротивления заземлителей</i>	37
2.5	Практическая работа 4. <i>Измерение удельного сопротивления грунта</i>	45
2.6	Практическая работа 5. <i>Измерения сопротивления соединений выравнивания потенциалов</i>	47
2.7	Практическая работа 6. <i>Измерения сопротивления изоляции</i>	49
3	ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НА ДЕМОНСТРАЦИОННОМ СТЕНДЕ ТЕ-30	53
3.1	Общая характеристика демонстрационного стенда ТЕ-30 - измерителя параметров заземляющих устройств....	53
3.2	Методы измерения сопротивления заземляющих устройств.....	57
	3.2.1 Общие требования.....	57
	3.2.2 Метод измерения сопротивления заземляющего устройства по РД 153-34.0-20.525-00.....	59
	3.2.3 Метод измерения сопротивления заземляющего устройства по ГОСТ Р 50571.16-2007.....	60
	3.2.4 Метод измерения сопротивления заземляющего устройства, рекомендованный Sonel.....	61
	3.2.5 Метод измерения с токоизмерительными клещами С-3 (не входят в стандартную комплектацию).....	62
	3.2.6 Метод измерения с помощью двух клещей С-3 и N-1	

	(не входят в стандартную комплектацию).....	63
3.3	Проверка наличия цепи между заземлёнными установками и элементами заземлённой установки.....	65
3.4	Подготовка прибора к работе.....	69
3.5	Измерение параметров сопротивления заземляющих устройств.....	73
3.6	Проверка наличия цепи между заземленными установками и элементами заземленной установки.....	84
3.7	Требования при проведении измерений.....	87
3.8	Рекомендуемые формы протоколов.....	93
4	ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НА ДЕМОНСТРАЦИОННОМ СТЕНДЕ ТМ 2501...	97
4.1	Общая характеристика демонстрационного стенда ТМ 2501- измерителя параметров сопротивления электроизоляции.....	97
4.2	Основные виды испытаний и характеристик измеряемых параметров.....	98
4.3	Основные технические характеристики прибора.....	109
4.4	Подготовка прибора к работе.....	111
4.5	Измерение сопротивления изоляции проводов, кабелей и обмоток электрических машин.....	113
4.6	Проверка наличия цепи между заземленными установками и элементами заземленной установки.....	118
4.7	Требования при проведении измерений.....	121
4.8	Рекомендуемые формы протокола.....	125
5	ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ПРИБОРОМ ТС-20.....	129
5.1	Общая характеристика прибора для измерения петли короткого замыкания ТС-20	129
5.2	Основные виды испытаний и характеристик измеряемых параметров прибором ТС-20.....	132
5.3	Подготовка прибора к работе.....	137
5.4	Измерение параметров петли короткого замыкания.....	138
5.5	Требования при проведении измерений	141
5.6	Рекомендуемые формы протокола.....	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....		148
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....		149

ВВЕДЕНИЕ

Изучение курса «Электробезопасность» состоит в овладении теоретическим материалом, получении практических навыков измерения и решения задач в соответствии с учебной программой.

Для выполнения практических заданий по расчетам и измерениям студенту рекомендуется изучить лекционный курс, более подробно ознакомиться с организацией эксплуатации электроустановок (ЭУ), системой работы государственного и ведомственного энергонадзора в системах электроснабжения, основными обязанностями лиц, ответственных за электрохозяйство предприятия, а также обязанностями ответственных лиц при производстве работ в ЭУ.

Стенды по электробезопасности помогут донести до студентов требования безопасности при проведении ремонтных работ, связанных с опасностью поражения электрическим током. Вся информация направлена на обеспечение обучающихся необходимыми знаниями и навыками, способными снизить вероятность получения травм и/или повреждений при использовании электрооборудования до нуля. Существует целый ряд правовых и технических документов, а также положений нормативно-технической базы, регламентирующих правила по электробезопасности. Демонстрационные стенды являются необходимой частью учебного процесса для проведения электрических измерений и позволяют вводить неисправность в обследуемую цепь. Это осуществляется с помощью переключателей, и различных элементов, расположенных на лицевой панели.

Приступая к выполнению практической работы по изучению стенда, студент должен внимательно прочитать цель и задачи, ознакомиться с требованиями к уровню подготовки в соответствии с ФГОС, краткими теоретическими и учебно-методическими материалами по теме практической работы, ответить на вопросы для закрепления теоретического материала.

Все задания к практической работе студент должен выполнить в соответствии с инструкцией, проанализировать полученные в ходе занятия результаты по приведенной методике.

Отчет о практической работе должны выполнить по приведенному алгоритму, опираясь на образец.

Наличие положительной оценки по практическим работам необходимо для получения дифференцированного зачета/экзамена по дисциплине.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Выравнивание потенциалов - снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или путем применения специальных покрытий земли.

Глухозаземленная нейтраль - нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству.

Двойная изоляция - изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, состоящая из основной и дополнительной изоляций.

Дополнительная изоляция - независимая изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, выполняемая дополнительно к основной изоляции для защиты при косвенном прикосновении.

Естественный заземлитель - сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.

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

Заземлитель - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Заземляющее устройство - совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Защита при косвенном прикосновении - защита от поражения электрическим током при прикосновении к открытым проводящим частям, оказавшимся под напряжением при повреждении изоляции.

Защитное заземление - заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

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

Защитный (РЕ) проводник - проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

Защитный заземляющий проводник - защитный проводник, предназначенный для защитного заземления.

Защитный проводник уравнивания потенциалов - защитный проводник, предназначенный для защитного уравнивания потенциалов.

Защитное автоматическое отключение питания - автоматическое размыкание цепи одного или нескольких фазных проводников (и, если требуется, нулевого рабочего проводника), выполняемое в целях электробезопасности.

Зона растекания (локальная земля) - зона земли между заземлителем и зоной нулевого потенциала.

Искусственный заземлитель - заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

Квалифицированный обслуживающий персонал - специально подготовленные работники, прошедшие проверку знаний в объеме, обязательном для данной работы (должности), и имеющие группу по электробезопасности, предусмотренную действующими правилами охраны труда при эксплуатации электроустановок.

Косвенное прикосновение - электрический контакт людей или животных с открытыми проводящими частями, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции.

Коэффициент абсорбции - это отношение измеренного сопротивления изоляции через 60 секунд после приложения напряжения (R60) к измеренному сопротивлению изоляции через 15 секунд (R15).

Методика выполнения измерений – совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленной погрешностью (неопределенностью).

Напряжение на заземляющем устройстве - напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземлитель и зоной нулевого потенциала.

Напряжение прикосновения - напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

Наряд - допуск (наряд) - задание на производство работы, оформленное на специальном бланке установленной формы и определяющее содержание, место работы, время ее начала и окончания, условия безопасного проведения, состав бригады и лиц, ответственных за безопасное выполнение работы.

Неопределенность измерений – параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые можно приписать измеряемой величине.

Нулевой защитный проводник - защитный проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для присоединения открытых проводящих частей к глухозаземленной нейтрали источника питания.

Нулевой рабочий (нейтральный) проводник (N) — проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников и соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

Основная изоляция - изоляция токоведущих частей, обеспечивающая в том числе защиту от прямого прикосновения.

Открытая проводящая часть - доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

Персонал административно - технический - руководители и специалисты, на которых возложены обязанности по организации технического и оперативного обслуживания, проведения ремонтных, монтажных и наладочных работ в электроустановках.

Персонал неэлектротехнический - производственный персонал, не попадающий под определение "электротехнического", "электротехнологического" персонала.

Персонал оперативный - персонал, осуществляющий оперативное управление и обслуживание электроустановок (осмотр, оперативные переключения, подготовку рабочего места, допуск и надзор за работающими, выполнение работ в порядке текущей эксплуатации)

Персонал оперативно - ремонтный - ремонтный персонал, специально обученный и подготовленный для оперативного обслуживания в утвержденном объеме закрепленных за ним электроустановок.

Персонал ремонтный - персонал, обеспечивающий техническое обслуживание и ремонт, монтаж, наладку и испытание электрооборудования

Персонал электротехнический - административно - технический, оперативный, оперативно - ремонтный, ремонтный персонал, осуществляющий монтаж, наладку, техническое обслуживание, ремонт, управление режимом работы электроустановок.

Проводящая часть - часть, которая может проводить электрический ток.

Прямое прикосновение - электрический контакт людей или животных с токоведущими частями, находящимися под напряжением.

Работа без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них - работа, выполняемая с прикосновением к токоведущим частям, находящимся под напряжением (рабочим или наведенным), или на расстоянии от этих токоведущих частей менее допустимых.

Работы со снятием напряжения - работа, когда с токоведущих частей электроустановки, на которой будут проводиться работы, отключением коммутационных аппаратов, отсоединением шин, кабелей, проводов снято напряжение и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на токоведущие части к месту работы.

Распоряжение - задание на производство работы, определяющее ее содержание, место, время, меры безопасности (если они требуются) и лиц, которым поручено ее выполнение, с указанием группы по электробезопасности.

Система TN-C - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении.

Система TN-S - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении.

Система TN-C-S - система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания.

Совмещенные нулевой защитный и нулевой рабочий (PEN) проводники - проводники в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающие функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.

Сопротивление изоляции – отношение напряжения, приложенного к диэлектрику, к протекающему сквозь него току (току утечки).

Сопротивление заземляющего устройства - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

Сторонняя проводящая часть - проводящая часть, не являющаяся частью электроустановки.

Ток утечки - ток, который протекает в землю или на сторонние проводящие части в электрически неповрежденной цепи.

Токоведущая часть - проводящая часть электроустановки, находящаяся в процессе ее работы под рабочим напряжением, в том числе нулевой рабочий проводник (но не PEN-проводник).

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

Усиленная изоляция - изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, равноценную двойной изоляции.

1 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

1.1 Основные причины электротравматизма

Широкое использование электрической энергии во всех отраслях промышленности, сельском хозяйстве и в быту обуславливает значительную опасность поражения человека электрическим током. Анализ показывает, что количество электротравм в промышленности составляет 0,5-1 %, однако, очень высокий процент летального исхода - 15-20 %, причем, до 80-85 % электротравм со смертельным исходом происходит в сетях с напряжением до 1000 В [1].

Анализ основных причин электротравматизма показывает, что 40-45 % электротравм связаны с ненадлежащим уровнем эксплуатации оборудования, приводящим к снижению сопротивления изоляции, появлению напряжения на токопроводящих его частях. Значительное количество электротравм (25-30 %) вызывается неудовлетворительной организацией рабочего места и недостаточным инструктированием лиц, работающих на электроустановках, 30-35 % электротравм обусловлено неудовлетворительной конструкцией и монтажом оборудования: наличием открытых токопроводящих частей, недостаточным расстоянием между токопроводящими частями и металлическими конструкциями оборудования, отсутствием сигнализации, блокировки и т.д.

В настоящее время большое количество машин и механизмов приводится в действие с помощью электрической энергии. Электричество применяется для привода электрических машин, прогрева замороженного грунта, бетона, при электросварке, для освещения и т.д.

Основными причинами, приводящими к травматизму, являются:

- физиологическая несовместимость электрического тока и биологических процессов в организме;
- непонимание большинством работающих конкретной опасности контакта с токопроводящими частями;
- неожиданное появление напряжения там, где его в нормальных условиях не должно быть (корпуса электрического оборудования, щиты и пульты управления и т.д.), что случается в результате пробоя или нарушения изоляции проводов, обмоток;
- прикосновение человека к неизолированным токопроводящим частям;
- недопустимое приближение к частям тоководов, находящихся под напряжением; при этом через тело человека при пробое изоляции, проходит электрический ток;
- попадание человека в зону короткого замыкания фазы на землю. При этом на поверхности земли происходит образование электрических потенциалов, что создает предпосылки возникновения шагового напряжения.

Прочие причины: несогласованность и ошибочные действия обслуживающего персонала, отсутствие надзора и т.д.

Анализ статистических данных электротравматизма показывает, что наибольшее число случаев поражения электрическим током (часто с тяжелым исходом) происходит в результате:

1) непосредственного включения человека в электрическую цепь под полное линейное или фазное напряжение. Во многих случаях это связано с возникновением «напряжения прикосновения» в результате появления напряжения на нетоковедущих металлических частях электрооборудования, не находящихся под напряжением в нормальных условиях эксплуатации.

Это может произойти в результате:

- разлива токопроводящих составов, смазок или красок;
- отсутствия заземления;
- повреждения изоляции токоведущих частей, пробоя на корпус;
- падения провода, находящегося под напряжением, на электроустановку или металлические конструкции машин и оборудования.

2) возникновения «шагового напряжения» на поверхности земли в результате замыкания токоведущих проводов на землю вследствие:

- падения провода на землю;
- появления напряжения на подземных металлических коммуникациях или сооружениях (вынос потенциала на поверхность земли);
- отсутствия или неисправности заземлителей и т.п.;

3) образования электрической дуги между токоведущей частью электроустановки и человеком при приближении человека на недопустимое расстояние к частям, находящимся под напряжением [2]. Возможно в электроустановках свыше 1000 В. Для предотвращения возникновения дуги устанавливается минимальное допустимое расстояние от токоведущих частей до человека:

- 0,7 м – в электроустановках напряжением до 35 кВ;
- 3,0 м - в электроустановках напряжением до 220 кВ.

4) прочих причин:

- отсутствие надзора за электроустановками, находящимися под напряжением, и другие;
- ошибочных или неточных действий работающих при работах в электроустановках и вблизи токоведущих частей;
- неисправности или отсутствия защитных средств (диэлектрических перчаток, изолирующего инструмента и т.п.);
- выполнение работ в электроустановках неэлектротехническим персоналом;
- ошибочного включения коммутационного аппарата (включателя, рубильника и т.п.);
- замыкания между отключенными и находящимися под напряжением токоведущими частями (проводами и т.п.);
- разряда молнии в электроустановку, электросеть и т.п.;
- освобождением человека, находящегося под напряжением.

1.2 Действие электрического тока на организм человека

Механизм поражения человека электрическим током чрезвычайно сложен и связан с нарушением биологических, физических, химических процессов в организме человека. При этом возможны необратимые нарушения функциональной деятельности жизненно важных органов человека.

При прохождении через организм человека электрический ток оказывает на него следующие виды воздействия:

- термическое;
- биологическое;
- электролитическое;
- механическое.

Термическое воздействие электрического тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве внутренних органов.

Биологическое (характерно только для живых тканей) – в раздражении и возбуждении живых тканей в организме, нарушении биоэлектрических процессов, протекающих в организме.

Электролитическое воздействие проявляется в разложении органических жидкостей, нарушении их физико-химического состава.

Механическое (динамическое) воздействие проявляется в разрыве тканей организма (мышечной, стенок сосудов).

По вызываемым последствиям электротравмы условно делят на:

- местные повреждения органов (повреждение кожи, тканей, связок, костей);
- общие (электрические удары), приводящие к нарушению функционирования всего организма.

Около 55% травм - совокупность местных электротравм с электроударом.

Электротравма – травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги. Электротравмы, вызывающие наружные (внешние) повреждения тканей, подразделяются на:

- *электрический ожог* - возникает при прохождении через тело человека незначительных токов (до 1 А);
- *электрические знаки* (метки тока) – образуются при тесном контакте кожи человека с токоведущими частями. Это результат химического и механического воздействия тока при относительно низкой температуре дуги - 120 °С;
- *металлизация кожи* – происходит от проникновения в верхние слои кожи частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги, насыщенной парами металла;
- *электроофтальмия* – поражение глаз вследствие воздействия ультрафиолетового излучения электрической дуги или ожогов;
- *механические повреждения* (переломы, ушибы и пр.) – при падениях с высоты и вследствие резких произвольных движений или потери сознания, вызванных действием электрического тока.

По степени тяжести различают 4 степени электроожогов:

1-я степень - покраснение кожи;

2-я степень - образование пузырей;

3-я степень - обугливание кожи;

4-я степень - обугливание подкожной клетчатки, мышц, сосудов, нервов, костей.

Электрический удар – возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц.

В зависимости от исхода воздействия тока на организм электрические удары условно делятся на следующие четыре степени:

I - судорожное сокращение мышц без потери сознания;

II - судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;

III - потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);

IV - клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Клиническая смерть - переходный период от жизни к смерти, наступающий с момента прекращения деятельности сердца и легких.

Биологическая смерть - необратимое явление, характеризующееся прекращением биологических процессов в клетках и тканях организма и распадом белковых структур.

1.3 Основные факторы, влияющие на исход поражения электрическим током

Возможные последствия поражения зависят от многих факторов (см. рис. 1.1):

- параметров электрической цепи (напряжения, сопротивления человеческого тела);
- величины, частоты и рода тока;
- времени воздействия тока на тело человека;
- пути прохождения тока через тело человека;
- окружающих условий среды (температура, влажность, атмосферное давление, материал полов и др.);
- индивидуальных особенностей человека.

Величина напряжения и тока. Электроток, как поражающий фактор, определяет степень физиологического воздействия на человека. Это следует из определения понятия электробезопасности, которое приведено в ГОСТ Р МЭК60050-826-2009. Установки электрические. Термины и определения [21].

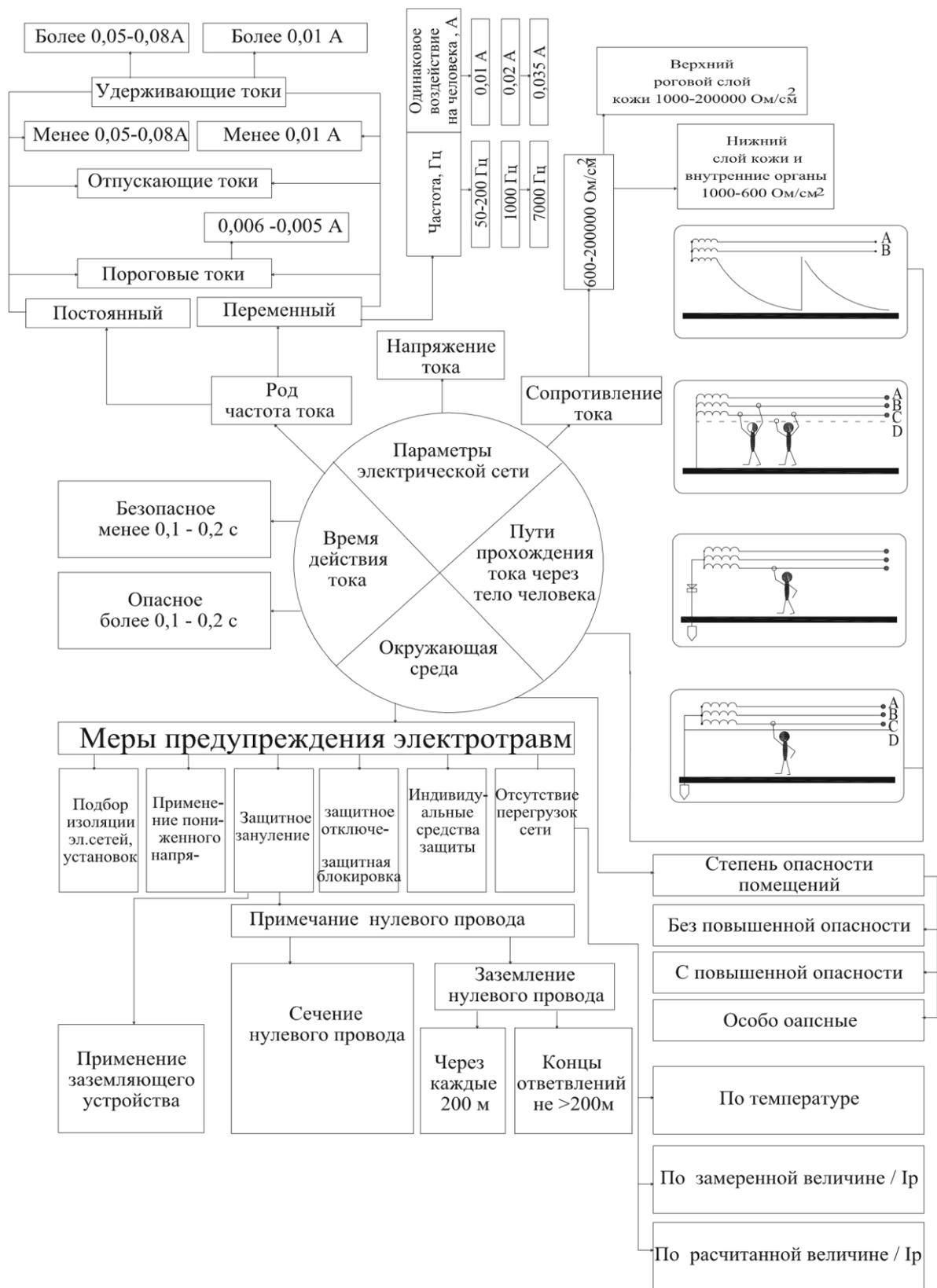


Рисунок 1.1 - Основные факторы, определяющие степень поражения человека электрическим током

Напряжение следует рассматривать лишь как фактор, обуславливающий протекание того или иного тока в конкретных условиях. Величина напряжения:

- напряжение до 12 В может вызвать конвульсивное сжатие проводника рукой;
- при напряжении 24 В разжать руку становится труднее;
- при напряжении 36 В разжать руку удается с большим трудом;
- при напряжениях до 40 В электрического удара не происходит;
- при напряжениях от 40 до 250 В электрический удар обычно протекает без анатомических повреждений;
- при напряжении более 250 В могут произойти ожоги в местах контакта.

По степени физиологического воздействия можно выделить следующие токи:

- пороговые;
- отпускающие;
- удерживающие.

Пороговый ток. Человек начинает ощущать протекание через него тока (ощутимый ток) при величинах переменного тока 0,5 - 1,5 мА (частота 50 Гц) и постоянного тока 5 - 7 мА.

Величина пороговых токов зависит от значения приложенного напряжения, сопротивления тела человека, его индивидуальных особенностей и находится в пределах от 0,5 до 5 мА.

Эти значения пороговых токов справедливы для случая касания токоведущих частей пальцами или ладонями рук. В случаях, когда контакт с проводником тока создается другими частями тела, имеющими более нежный покров (лицо, шея, тыльная сторона руки и т.п.), пороговые токи имеют меньшие значения.

Отпускающий ток. В этом случае человек еще может самостоятельно прервать электрическую цепь, проходящую через его тело, т.е. отключиться от напряжения.

Значение отпускающих токов находится в пределах около 10 - 15 мА для переменного тока и 50 - 80 мА для постоянного. При большей величине человек не может освободить себя (пороговый неотпускающий ток).

Удерживающими токами считаются такие, при которых человек лишается возможности без помощи извне освободиться от контакта с частями установок, находящихся под напряжением. Их значения больше 15 - 20 мА для переменного и 80 мА для постоянного тока.

Отпускающие токи можно считать условно безопасными, поскольку они не вызывают немедленного поражения. Однако при относительно длительном протекании таких токов через тело человека их величина растет. Человек теряет способность управления мышцами, не может самостоятельно освободиться от воздействия сети электрического тока, а поэтому при отсутствии своевременно оказанной помощи смертельный исход весьма вероятен.

Удерживающие токи, безусловно, опасны для человека, так как вызывают сильные и болезненные судороги мышц, преодолеть которые человек не в

состоянии в силу того, что эти токи воздействуют на нервную систему человека и в первую очередь парализуют биотоки организма, управляющие всей двигательной системой тела.

В результате воздействия этих токов человек не может разжать или отнять руку, которой он держится за токоведущую часть, отбросить от себя провод, сойти с него, позвать на помощь и т.п. С течением времени величина удерживающего тока вырастает и достигает значений, приводящих к поражению.

При токе 50 мА происходит воздействие на мышцы грудной клетки и затрудняются дыхательные движения. Длительное воздействие этого тока может вызвать прекращение дыхания, после чего спустя некоторое время наступает смерть от удушья.

Ток от 50 мА до 100 мА (при 50 Гц) вызывает быстрое нарушение работы легких и сердца. Однако при меньших токах первыми (по времени) поражаются легкие, а затем - сердце.

Переменный ток от 100 мА до 5 А (при 50 Гц) и от 300 мА до 5 А при постоянном токе распространяется в своем действии на мышцу сердца. Это явление весьма опасно для жизни человека, так как спустя 1 - 2 секунды с начала прохождения тока через человека может наступить фибрилляция сердца (некоординированные судороги сердечных волокон).

Следовательно, сила тока зависит от величины приложенного напряжения и сопротивления участка тела человека. Сопротивление участка тела складывается из сопротивления тканей внутренних органов и сопротивления кожи. При расчете принимается сопротивление равное 1000 Ом. Воздействие тока различной величины приведено в табл. 1.1.

Таблица 1.1 - Проявления воздействия тока различной величины на человека

Ток, мА	Воздействие на человека	
	Переменный ток	Постоянный ток
0,5	Отсутствует	Отсутствует
0,6 – 1,5	Легкое дрожание пальцев	Отсутствует
2 – 3	Сильное дрожание пальцев	Отсутствует
5-10	Судороги в руках	Нагрев
12 – 15	Трудно оторвать руки от проводов	Усиление нагрева
20 – 25	Руки парализует немедленно	Усиление нагрева
50 – 80	Паралич дыхания	Затруднение дыхания
90 – 100	при $t > 3$ сек – паралич сердца	Паралич сердца

Род и частота тока. Как показывает практика эксплуатации электроустановок, постоянный ток безопаснее переменного с частотой 50 Гц.

Если сопоставить значения пороговых ощутимых токов (5 - 7 мА) для постоянного и переменного (0,5 - 1,5 мА), то окажется, что постоянный ток безопаснее примерно в 4 - 5 раз переменного [16].

Однако это справедливо лишь для напряжений 250 - 300 В. При более высоких напряжениях опасность постоянного тока возрастает.

При 450 - 500 В действие постоянного и переменного тока одинаково. В связи с этим определены эквивалентные токи по своей опасности, например, 42 В (перем.) = 120 В (пост.); 36 В (перем.) = 108 В (пост.).

Увеличение частоты тока в пределах от 0 до 60 Гц ведет к повышению опасности поражения током человека (наиболее опасной является промышленная частота 50 - 60 Гц). Однако дальнейшее повышение частоты уменьшает опасность тока. При частоте 1 - 2 кГц опасность тока заметно снижается, а при 400 - 500 кГц биологическое действие тока не проявляется вовсе (но сохраняется опасность ожогов, как от электрической дуги, так и от тока, проходящего через тело человека).

Продолжительность воздействия тока. Этот фактор имеет не только физиологическое, но и практическое значение при проектировании устройств защитного отключения.

Установлено, что поражение электрическим током возможно лишь в стоянии полного покоя сердца человека, когда отсутствуют сжатие (систола) или расслабление (диастола) желудочков сердца и предсердий. Поэтому при малом времени воздействие тока может не совпадать с фазой полного расслабления. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» даёт подробную таблицу зависимости допустимых для человека течений токов от продолжительности их воздействия. Так, при продолжительности воздействия 0,1 с допустимый ток составляет 500(400) мА; при 0,2 с - 250 (190) мА; при 0,4 с - 125 (140) мА; при 0,5 с - 100 (125) мА; при 0,7 с - 70 (90) мА; при 1,0 с - 50 (50) мА [20].

Сопротивление тела человека. Тело человека является проводником электрического тока. Проводимость живой ткани в отличие от обычных проводников обусловлена не только ее физическими свойствами, но и сложнейшими биохимическими и биофизическими процессами, присущими лишь живой материи. В результате сопротивление тела человека является переменной величиной, имеющей нелинейную зависимость от множества факторов, в том числе от состояния кожи, параметров электрической цепи, физиологических факторов и состояния окружающей среды.

Электрическое сопротивление различных тканей тела человека неодинаково: кожа, кости, жировая ткань, сухожилия и хрящи имеют относительно большое сопротивление, а мышечная ткань, кровь, лимфа и особенно спинной и головной мозг - малое сопротивление. Например, удельное объемное сопротивление сухой кожи составляет $3 \times 10^3 - 2 \times 10^4$ Ом, а крови 1 - 2 Ом при частоте тока 50 Гц. Из этих данных следует, что кожа обладает очень большим удельным сопротивлением, которое является главным фактором, определяющим сопротивление тела человека в целом.

Строение кожи весьма сложно. Кожа состоит из двух основных слоев: наружного, называемого эпидермисом, и внутреннего, являющегося собственно кожей и носящего название дермы.

Сопротивление тела человека можно условно считать состоящим из трех последовательно включенных сопротивлений: двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи, т.е. эпидермиса, $2z_n$ (которые в совокупности составляют так называемое наружное сопротивление тела человека) и одного, называемого внутренним сопротивлением тела R_b (которое включает в себя сопротивление внутренних слоев кожи и сопротивление внутренних тканей тела) (рис. 1.2).

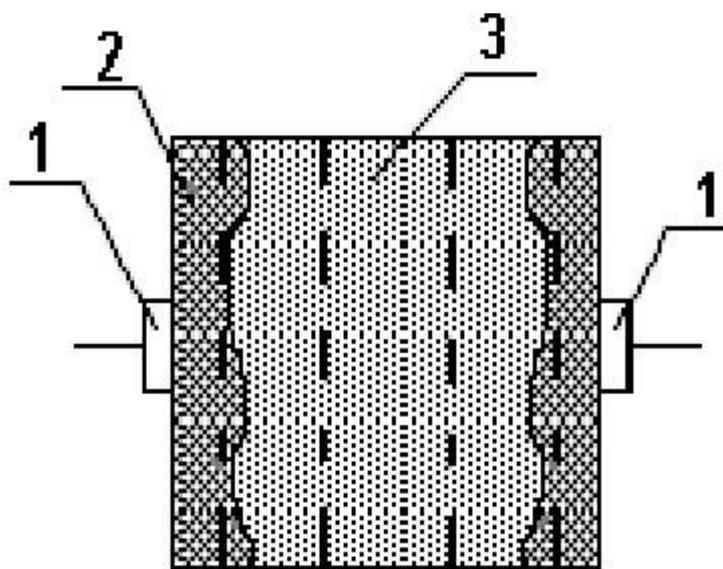


Рисунок 1.2. - К определению сопротивления тела человека:

1 – электроды; 2 – наружный слой кожи – эпидермис (роговой и ростковый слой); 3 – внутренние ткани тела (включая внутренний слой кожи – дерму)

Сопротивление наружного слоя кожи Z_n состоит из *активного* и *емкостного* сопротивлений, включенных параллельно. Полное сопротивление наружного слоя кожи Z_n зависит от площади электродов, частоты тока, а также от значения приложенного напряжения и при площади электродов в несколько квадратных сантиметров может достигать весьма больших значений (десятков и сотен тысяч Ом).

Внутреннее сопротивление тела считается чисто *активным*, хотя, строго говоря, оно также обладает *емкостной* составляющей. Внутреннее сопротивление R_b практически не зависит от площади электродов, частоты тока, а также от значения приложенного напряжения и равно примерно 500 – 700 Ом.

Эквивалентная схема сопротивления тела человека для рассмотренных условий показана на рис. 1.3.

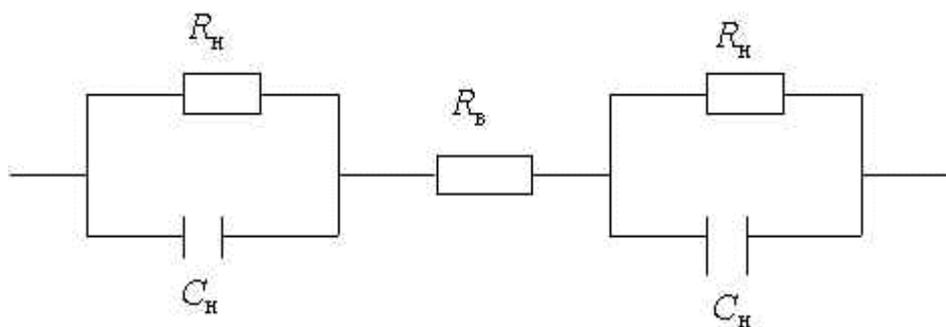


Рисунок 1.3 - Эквивалентная схема замещения сопротивления тела человека

На основании этой схемы выражение для определения полного сопротивления тела человека имеет вид после соответствующих преобразований – в действительной форме Z_h , Ом

$$Z_h = \sqrt{\frac{4R_H(R_H+R_B)}{1+\omega^2 R_H^2 C_H^2}} R_B \quad (1.1)$$

где Z_h - сопротивление наружного слоя кожи в комплексной форме, Ом;
 $\omega = 2\pi f$ - угловая скорость, рад/с; f - частота тока, Гц.

Эту схему можно упростить, представив сопротивление тела человека как параллельное соединение сопротивления R_h и емкости C_h , которые назовем соответственно активным сопротивлением и емкостью тела человека (рис. 1.4).

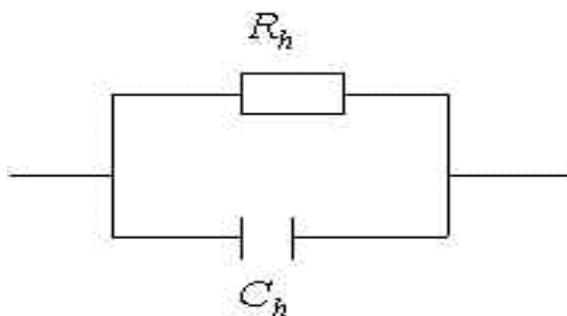


Рисунок 1.4 - Упрощенная схема замещения сопротивления тела человека

При этом $R_h = 2R_H + R_B$, а $C_h = 0,5 C_H$, Ом (1.2)

В этом случае выражение полного сопротивления тела человека в действительной форме будет, Ом,

$$Z_h = \frac{R_h}{\sqrt{1+\omega^2 R_h^2 C_h^2}} \quad (1.3)$$

При малой емкости (когда ее можно принять равной нулю) полное сопротивление тела человека оказывается равным сумме активных сопротивлений обоих слоев эпидермиса и внутреннего сопротивления тела, Ом, т. е.

$$z_h = 2R_n + R_e = R_h \quad (1.4)$$

В целом, значение полного сопротивления тела человека зависит от ряда факторов - состояния кожи; от параметров электрической цепи; места приложения электродов к телу человека; значений тока и приложенного напряжения; рода и частоты тока, площади электродов; длительности прохождения тока; физиологических факторов и окружающей среды.

Расчетное электрическое сопротивление тела человека переменному току частотой 50 Гц при анализе опасности поражения человека током принимается равным 1000 Ом.

Путь («петля») тока через тело человека. При расследовании несчастных случаев, связанных с воздействием электрического тока, прежде всего выясняется, по какому пути протекал ток.

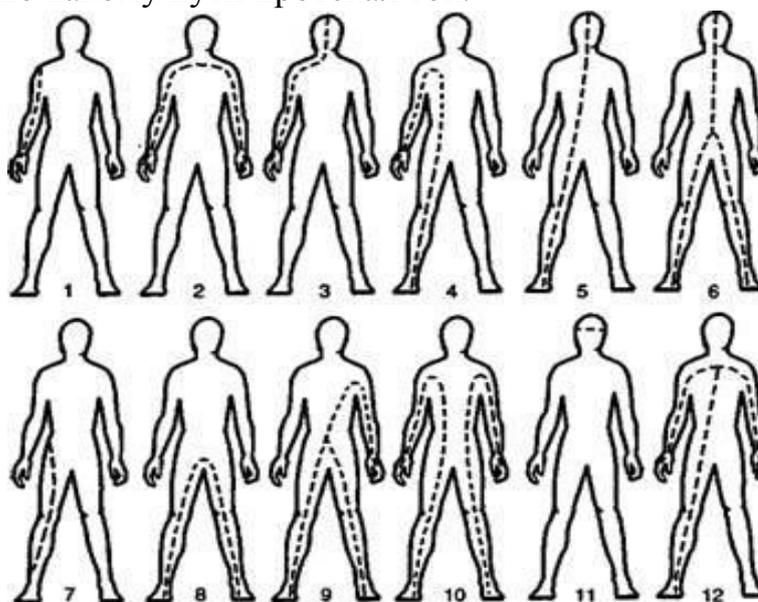


Рисунок 1.5 - Варианты пути тока через тело человека

Человек может коснуться токоведущих частей (или металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением) самыми различными частями тела. Отсюда – многообразие возможных путей тока. Наиболее вероятными признаны следующие пути:

- «правая рука - ноги» (20 % случаев поражения);
- «левая рука - ноги» (17 %);
- «обе руки - ноги» (12 %);
- «голова - ноги» (5 %);
- «рука - рука» (40 %);
- «нога - нога» (6 %).

Все петли, кроме последней, называются «большими», или «полными» петлями, ток захватывает область сердца и они наиболее опасны. В этих случаях через сердце протекает 8 - 12 % от полного значения тока. Петля «нога - нога» называется «малой», через сердце протекает всего 0,4 % от полного тока. Эта петля возникает, когда человек оказывается в зоне растекания тока, попадая под шаговое напряжение.

Индивидуальные свойства человека и фактор внимания. К ним относятся состояние здоровья, подготовленность к работе с электрической установкой, профессиональные навыки, внимательность и т.д. Поэтому обслуживание электроустановок поручается лицам прошедшим медицинский осмотр, специальное обучение и имеющим допуск к работе.

1.4 Причины поражения электрическим током

Возможны следующие причины поражения электрическим током:

1. *Наведенное напряжение.* Высоковольтные линии передачи переменного тока могут наводить высокое переменное напряжение в проходящих рядом низковольтных линиях электропередачи, линиях связи, любых протяженных проводниках, изолированных от земли. Может возникнуть даже на автомашине.
2. *Остаточное напряжение.* Линия электропередачи имеет большую электрическую емкость. Поэтому если линию отключить от напряжения, некоторое время все равно будет сохраняться разность потенциалов, и одновременное прикосновение к разным проводам приведет к электрическому удару. Однократный разряд линии с помощью заземленного проводника может оказаться недостаточным. Опасное остаточное напряжение может сохраняться в радиоаппаратуре, в составе которой есть конденсаторы с емкостью порядка микрофарад.
3. *Статическое напряжение.* Возникает в результате накопления электрического заряда на изолированном проводящем объекте.
4. *Шаговое напряжение.* Возникает между ногами из-за того, что они находятся на разном расстоянии от упавшего на землю провода.
5. *Повреждение изоляции.* Причины могут быть следующие: заводской брак; старение; климатические воздействия, загрязнение; механическое повреждение, например, инструментом; механический износ, например, на изгибе; преднамеренная порча.
6. *Случайное прикосновение* к токоведущей детали из-за незнания, спешки, действия отвлекающих факторов.
7. *Отсутствие заземления.* В заземленной аппаратуре в случае пробоя изоляции на корпус происходит короткое замыкание и сгорают предохранители.
8. *Замыкание в результате аварии.* Например, сильный ветер или другая причина может вызвать повреждение воздушной линии электропередачи и падение провода на проходящий параллельно воздушный провод радио или

телефона, после чего считающийся низковольтным провод оказывается под высоким напряжением.

9. *Несогласованность*. Один индивидуум работает в аппаратуре, другой подает на нее напряжение.

1.5 Растекание тока в земле. Напряжение шага. Напряжение прикосновения

Токоведущие части сети изолированы от земли, но, несмотря на это проводники сети имеют всегда связь с землей [18]. Связь эта – двоякого рода:

1. Изоляция токоведущих частей имеет определенное сопротивление по отношению к земле. Это означает, что через изоляцию проводников в землю протекает ток некоторой величины, который при хорошей изоляции весьма мал. Этот ток называется током утечки (связь первого рода).

2. Связь второго рода образуется емкостью между проводниками сети и землей. Каждый проводник сети и землю можно представить себе как две обкладки протяженного конденсатора. Например, в воздушных линиях проводник и земля – это обкладки конденсатора, а воздух между ними – диэлектрик. В кабельных линиях обкладками конденсатора являются жила кабеля и металлическая оболочка, соединенная с землей, а изоляция – диэлектрик. При переменном напряжении изменение зарядов конденсаторов вызывает возникновение соответствующих переменных токов. Это так называемые емкостные токи. В исправной сети они равномерно распределены по длине проводов и в каждом отдельном участке также замыкаются на землю.

В аварийных ситуациях (обрыв и падение фазного провода на землю, замыкание фазы на корпус заземленного оборудования и т.п.) происходит растекание тока в земле (грунте). На поверхности земли появляется электрический потенциал, величина которого зависит от величины тока замыкания на землю, удельного сопротивления грунта в зоне растекания тока и расстояния от точки замыкания.

Ток в цепи замыкания, если человек включился в цепь и ток проходит через его тело, может нанести тяжелое поражение или оказаться для него смертельным. Например, в земле находится одиночный заземлитель, через который протекает ток однофазного замыкания на землю.

График зависимости напряжений от расстояния до заземлителя показывает, что напряжения по отношению к земле всех точек, расположенных во все стороны от одиночного заземлителя на расстояниях, примерно больших 20 м, близки к нулю. Это происходит вследствие увеличения, по мере удаления от заземлителя, сечения массива земли, через которое протекает ток замыкания на землю, при одновременном растекании тока в земле. На расстоянии более 20 м от заземлителя сечение массива земли настолько велико, а плотность тока мала, что напряжения между точками земли и удаленными точками практически не обнаруживаются (см. рис. 1.6)

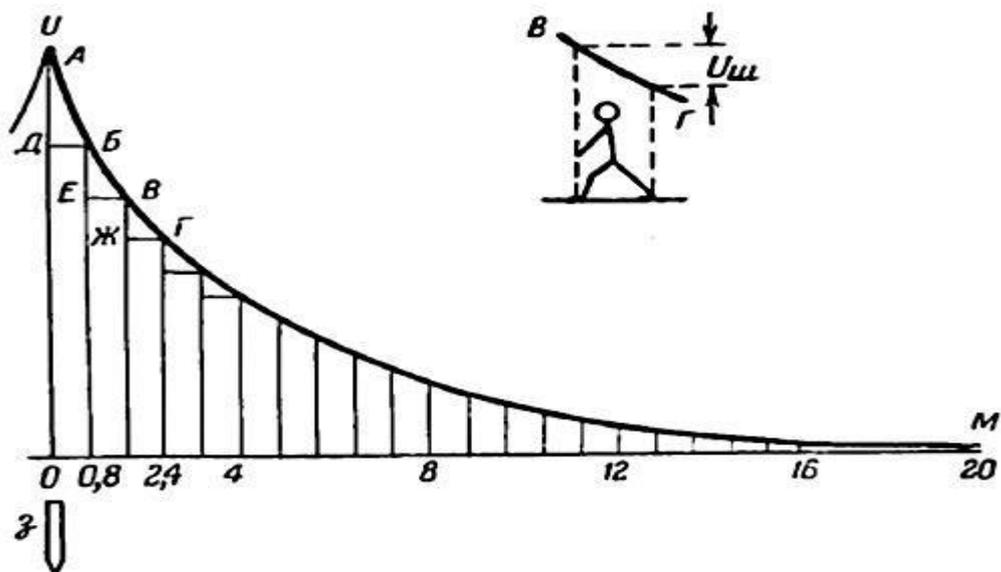


Рисунок 1.6 - Напряжения по отношению к земле на различных расстояниях от заземлителя и напряжения шага

В зоне растекания тока в земле человек может оказаться под разностью потенциалов, например на расстоянии шага. В месте контакта поврежденной фазы с землей (рис. 1.7) потенциал на поверхности земли будет наибольшим. На расстоянии 1 м от центра замыкания на землю напряжение составляет 68 % от полного напряжения, а на расстоянии 20 м равно 0. Напряжение, действию которого подвергается человек, называется напряжением шага.

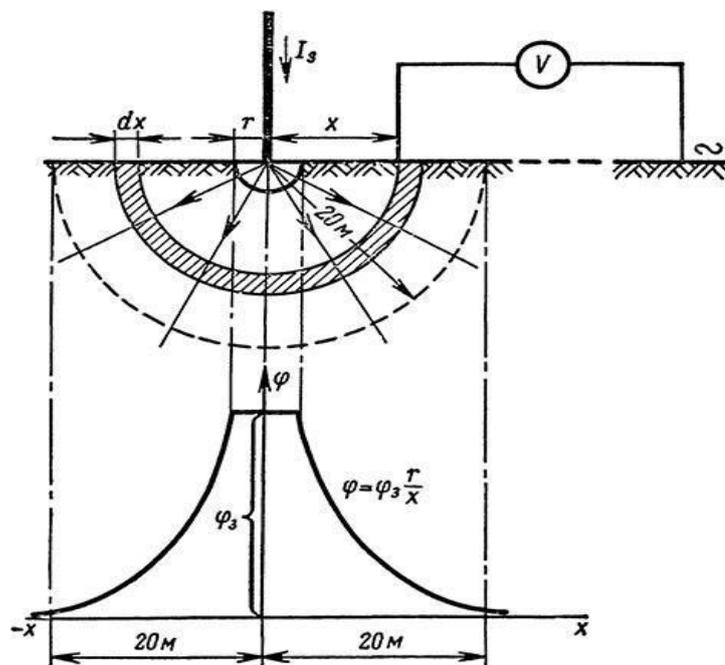


Рисунок 1.7 - Распределение потенциала на поверхности земли вокруг полушарового заземлителя

Напряжением шага называется разность потенциалов точек на поверхности земли, отстоящих одна от другой на расстоянии шага человека (приблизительно равного 0,8 м) в зоне растекания тока.

Следовательно, человек, не касаясь каких-либо частей электроустановок, может оказаться под напряжением, и ток при этом идет от одной ноги человека к другой. Это происходит потому, что удаленные на разные расстояния от провода точки почвы касаются одновременно ног человека и имеют разные потенциалы (рис. 1.7):

$$U_1 = \frac{I\rho}{2\pi x} ; U_2 = \frac{I\rho}{2\pi x(x+a)}, \text{ В} \quad (1.5)$$

Тогда напряжение шага

$$U_{\text{ш}} = U_1 + U_2 = \frac{I[(x+a)-1]}{2\pi x(x+a)}, \text{ В} \quad (1.6)$$

где ρ – удельное сопротивление, Ом·см; x – расстояние от провода до одной ноги, м; a – шаг человека, м.

Шаговое напряжение считается безопасным, если $U_{\text{ш}} < 40$ В. Если человек прикасается к корпусу электроприемника с поврежденной изоляцией, то он, в свою очередь, оказывается под напряжением по отношению к земле даже тогда, когда корпус заземлен.

Например, при заземлении двух двигателей на общий одиночный заземлитель при расстоянии между электродвигателями 20 м, на одном из двигателей произошел пробой статорной обмотки на корпус (рис. 1.7). В данном случае корпуса обоих двигателей оказываются под напряжением и вокруг заземлителя R_z на поверхности земли образуется потенциальное поле. При прикосновении к корпусу первого электродвигателя человек оказывается под напряжением, равным разности потенциалов заземлителя φ_1 и точки земли φ_2 , где располагается человек, т.е. напряжением прикосновения

$$U_{\text{пр}} = \varphi_1 - \varphi_2, \text{ В} \quad (1.7)$$

Напряжение прикосновения ($U_{\text{пр}}$) это разность потенциалов (φ_1 и φ_2) двух точек электрической цепи, которых одновременно касается человек, т. е. есть разность потенциалов точек прикосновения руки и ног:

$$U_{\text{пр}} = I_h \cdot R_h, \text{ В} \quad (1.8)$$

При касании человека второго двигателя напряжение прикосновения $U_{\text{пр}2} = \varphi_1 - 0 = \varphi_1$. Это наиболее опасный случай прикосновения, так как напряжение достигает максимального значения. Минимальное значение $U_{\text{пр}}$ будет при нахождении человека вблизи электродвигателя 1, максимальное - при касании двигателя 2 (рис. 1.8).

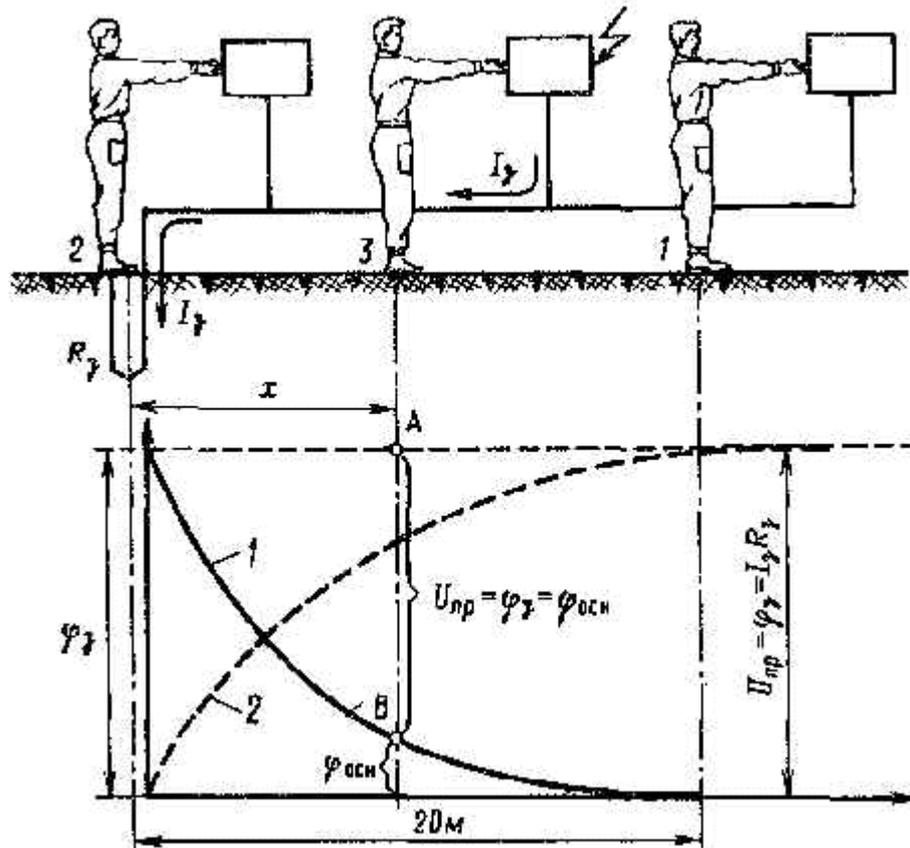


Рисунок 1.8 - Схема определения напряжения прикосновения при заземлении нескольких электродвигателей на одиночный заземлитель

Самым опасным является прикосновение человека к двум различным фазам, находящимся под напряжением. Человек оказывается включенным на полное линейное напряжение в сети и сила тока, проходящего через человека,

$$I_h = \frac{U_{л}}{R_h}, \text{ А} \quad (1.9)$$

где $U_{л}$ – линейное напряжение сети, В;
 R_h – сопротивление тела человека, Ом.

В этом случае при всех напряжениях в сети сила тока $I_h > 0,01 \text{ А}$, значительно больше удерживающего тока.

При этом в считанные доли, происходит пробой кожного покрова и по телу человека замыкается электрическая цепь. Особо опасно прохождение тока рядом с жизненно важными органами: сердце, грудная клетка, печень и так далее, что может вызвать фибрилляцию сердца, потерю сознания и привести к летальному исходу (см. рис.1.9).

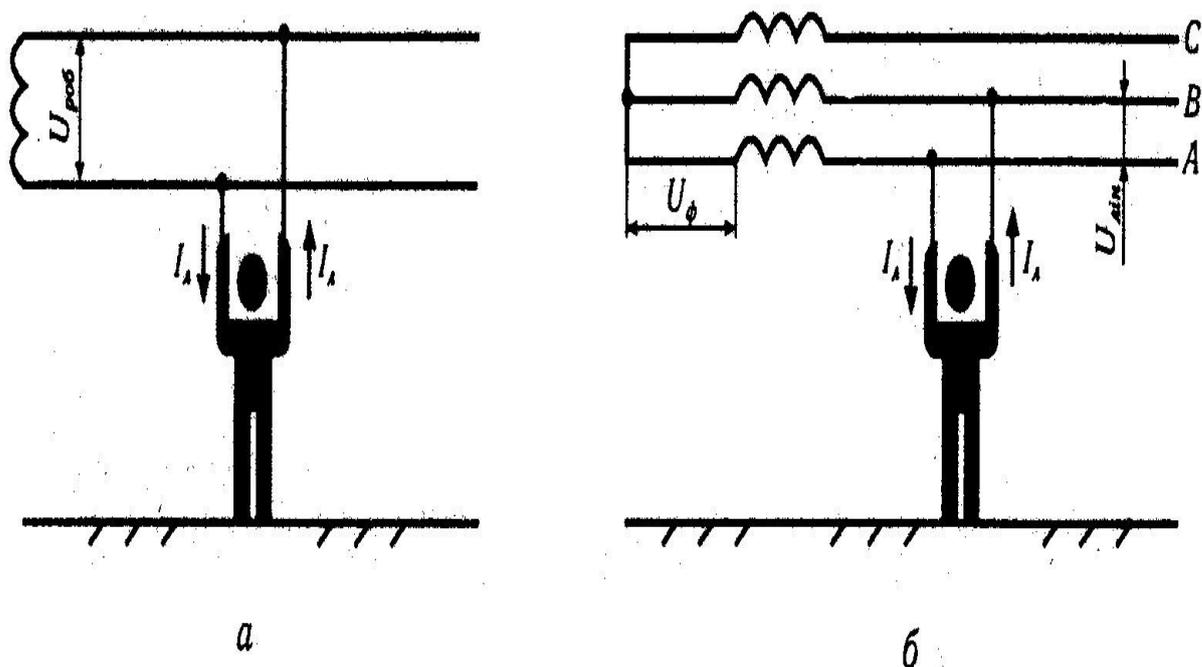


Рисунок 1.9 - Схема двухфазного включения:
 а – сети постоянного и однофазного тока; б - сети трехфазного тока

При двухфазном прикосновении ток, проходящий через человека, практически не зависит от режима нейтрали сети. Следовательно, двухфазное прикосновение является одинаково опасным как в сети с изолированной, так и с заземленной нейтралью (при равенстве линейных напряжений этих сетей).

При одновременном соприкосновении человека с линейным и нулевым проводом имеет место однофазное включение. Опасность поражения током в этом случае, по сравнению с линейным, в 1,73 меньше.

Первый и второй случаи еще очень опасны и потому, что ток проходит по кратчайшему пути через руки и жизненно важные органы человека, парализуя их работу. Следует отметить, что прикосновение человека двумя руками к разным проводам происходит редко, чаще одной рукой, т. е. при однофазном включении.

При однополюсном прикосновении к двухпроводной сети величина тока, проходящего через человека, будет определяться по формуле:

$$I_h = U_{\phi} / (R_h + R_n + R_{об}), \text{ А} \quad (1.10)$$

где R_n – сопротивление изоляции пола, Ом;
 $R_{об}$ – сопротивление изоляции обуви, Ом.

При однофазном (однополюсном) прикосновении в сети с глухозаземленной нейтралью через тело человека пройдет ток.

$$I_h = U_{\phi} / (R_h + R_o + R_n + R_{об}), \text{ А} \quad (1.11)$$

где R_o - сопротивление заземления нейтрали, Ом
 Сопротивление заземления нейтрали ничтожно мало и им можно пренебречь $R_o = 0$, поэтому,

$$I_h = U_\phi / (R_h + R_n + R_{ob}), \text{ А} \quad (1.11)$$

т.к. U_ϕ меньше $U_{л}$ в 3, то величина тока поражения будет значительно меньше, чем при двухфазном включении и зависит от величины сопротивления пола и обуви.

При однофазном включении человека в трехфазную сеть с изолированной нейтралью величина тока, проходящего через человека, будет меньше, чем при аналогичном включении в сети с глухозаземленной нейтралью (при исправной сети). Это связано с тем, что добавляется сопротивление изоляции ($R_A; R_B; R_C$) и емкости ($C_A; C_B; C_C$) фаз.

Если пренебречь емкостным сопротивлением, т.е. $C_A = C_B = C_C = 0$, где R_u – сопротивление изоляции одной фазы, Ом, $R_U = R_A = R_B = R_C$ а при $R_n = R_{ob} = 0$:

$$I_h = U_\phi / (R_h + R_u/3), \text{ А} \quad (1.12)$$

В случае заземления нейтрали через человека пройдет меньший ток, т.к. сила тока существенно зависит от состояния изоляции, подбора полов в помещениях, где установлена электроаппаратура, спецобуви и так далее. Например, сухие полы имеют сопротивление до $1 \cdot 10^6$ Ом•м.

Не учтенные влияния сопротивления пола помещения и обуви могут привести к несчастному случаю.

Из сравнения приведенных выше формул видно, что ток, проходящий через человека, будет меньше, так как при однофазном включении ток не проходит через жизненно важные органы.

Выше рассмотрены условия поражения человека при нормальной работе электросети. В случае аварийных режимов (замыкания корпуса или одной из фаз на землю) ток, который проходит через тело человека при соприкосновении с исправной фазой определяется

$$I_h = U_{л} / (R_h + R_k), \text{ А} \quad (1.13)$$

где R_k – сопротивление короткого замыкания, Ом
 R_k – весьма мало и им можно пренебречь, тогда ток поражения

$$I_h = U_{л} / R_h, \text{ А} \quad (1.14)$$

т.е. ток поражения равен, практически току поражения при двухфазном включении в электрическую цепь, что очень опасно для человека.

В сетях с глухозаземленной нейтралью срабатывает защита при возникновении короткого замыкания.

Поэтому, можно сделать следующие выводы:

- в условиях малой протяженности сети и сохранения постоянного высокого сопротивления изоляции, малой вероятности замыкания на землю (при наличии автоматического контроля изоляции на землю), сети с изолированной нейтралью менее опасны, чем с глухозаземленной;

- в условиях разветвленной сети с глухозаземленной нейтралью большой протяженности, когда нет возможности поддерживать постоянно высокий уровень изоляции сети, а при большом количестве потребителей не исключено возникновение замыкания на корпус - сети с глухозаземленной нейтралью имеют преимущество, заключающееся в отсутствии влияния сопротивления сети относительно земли (активного емкостного) на ток поражения и автоматическом отключении участка с поврежденной изоляцией при замыкании на корпус.

2 ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НА ДЕМОНСТРАЦИОННОМ СТЕНДЕ ДВ-1

2.1 Общая характеристика демонстрационного стенда ДВ-1

Стенды по электробезопасности предназначены для обучения студентов технике безопасности при работе с электрооборудованием и электроинструментом. За счет качественно выполненных иллюстраций возможно легкое и доступное для каждого усвоение основных правил работы с электрическим током. Использование таких средств обучения и информирования как стенды по электробезопасности направлено на предотвращение вредного и опасного воздействия на работающих от электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Демонстрационный стенд ДВ-1 используется для показа порядка проведения измерений, фиксации полученных данных и процесса поиска возможных неисправностей при исследовании характеристик устройств автоматической защиты, а также при изучении свойств заземлителя и его отдельных элементов [11].



Рисунок 2.1 - Внешний вид демонстрационного стенда ДВ-1

Таблица 2.1-Технические данные демонстрационного стенда ДВ-1

№ пп	Показатели	Характеристика
1	Тип изоляции	одинарная, согласно PN-EN 61010-1
2	Категория измерения	II 300 В по PN-EN 61010-
3	Степень защиты по PNEN	IP40
4	Питание измерителя	220/230 В
5	Предохранитель	2 x T3,15A 250В, или 2xF4A 250 В
6	Потребляемая мощность	15 мВт
7	тип выключателя RCD	30 мА тип АС

Возможности стенда достаточно разнообразны и не ограничиваются определением величины сопротивления различных объектов (контура заземления, петли короткого замыкания, соединения выравнивания потенциалов), в их число также входит способность проверять работоспособность УЗО, измерять переменное напряжение в заданной цепи, производить другие исследования, наглядно демонстрирующие законы электротехники.

Корпусу стенда придали вид переносного, пластикового кейса, который оборудован специальным кабелем сетевого питания, вспомогательными проводами и перемычками, что позволяет быстро и оперативно развернуть учебное место в любой указанной аудитории или лаборатории.

Стенд выполнен в виде переносного пластикового кейса с габаритными размерами 405 x 300 x 140 мм и массой 3,6 кг, оснащен отдельным кабелем питания, вспомогательным проводом «банан»-«банан» 0,7 м, перемычками (4 шт.), инструкцией по эксплуатации и гарантийным талоном.

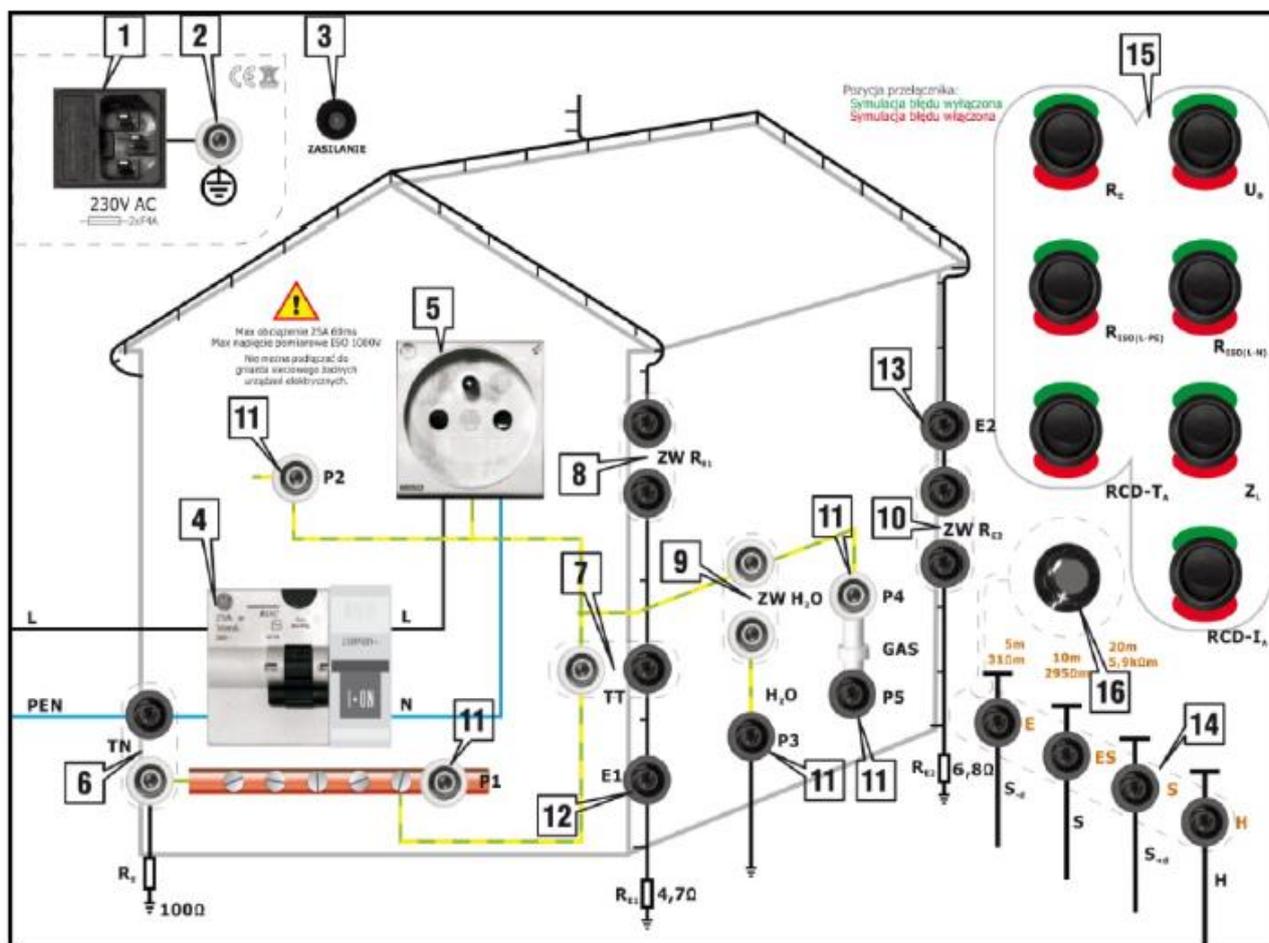


Рисунок. 2.2 – Расположение элементов на передней панели демонстрационного стенда DB-1:

- 1) Сетевое гнездо 220/230 В.
- 2) Дополнительное гнездо РЕ.
- 3) Контрольная лампа питания 220/230 В.

- 4) Выключатель дифференциального тока.
- 5) Измерительное гнездо.
- 6) Перемычка сети TN.
- 7) Перемычка сети TT .
- 8) Перемычка заземления RE1 (ZW RE1).
- 9) Перемычка эквипотенциального соединения с трубопроводом (ZW H2O).
- 10) Перемычка заземления RE2 (ZW RE2).
- 11) Точки измерения P1, P2, P3, P4, P5.
- 12) Точка измерения заземления RE1 (E1).
- 13) Точка измерения заземления RE2 (E2).
- 14) Гнезда измерительных электродов.

С помощью данного стенда можно имитировать следующие виды измерений:

1. измерение полного сопротивления петли короткого замыкания в цепях L-N и L-PE для сетей TT или TN;
2. измерение параметров устройств защитного отключения (УЗО) типа AC;
3. измерение сопротивления изоляции в цепях L-N и L-PE;
4. измерение сопротивления контура заземления;
5. измерение сопротивления отдельного заземлителя входящего в контур заземления с использованием клещей;
6. измерение сопротивления заземлителей методом двух клещей;
7. измерение сопротивления заземлений с использованием приборов для измерений петли замыкания;
8. измерение удельного сопротивления грунта (5, 10 и 20 м);
9. измерение сопротивления соединений выравнивания потенциалов (металлосвязь);
10. измерение переменного напряжения.

Демонстрационный стенд позволяет также вводить неисправность в обследуемую цепь. Это осуществляется с помощью переключателей, расположенных на лицевой панели, см. рис. 2.2.

На стенде расположены переключатели, имитирующие неисправности в электрической системе объекта:

- 1) **RE** - Высокое сопротивление заземления в точке P2, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$.
- 2) **UB** - Превышение допустимого напряжения U_B при измерении параметров УЗО в измерительном гнезде. $U_B > 25 \text{ В}$.
- 3) **RISO (L-PE)** - Низкое сопротивление изоляции - замер L-PE. $RISO(L-PE) = 200 \text{ к}\Omega$.
- 4) **RISO (L-N)** - Низкое сопротивление изоляции - замер L-N. $RISO(L-N) = 100 \text{ к}\Omega$.
- 5) **RCD-TA** - Превышено допустимое время срабатывания выключателя дифференциального тока (УЗО).

6) **ZL** - Большое сопротивление петли короткого замыкания. $Z_L \approx 6 \Omega$.

7) **RCD-IA** - Ток срабатывания УЗО ниже требуемого (повреждено УЗО или слишком большой ток утечки системы). $I_A \approx 13 \text{ мА}$.

2.2 Практическая работа 1. Измерение сопротивления петли короткого замыкания

Цель: *Научиться выполнять измерение сопротивления петли короткого замыкания.*

Задание: 1. *Выполнить измерение полного сопротивления петли короткого замыкания в цепи LPE;*

2. *Выполнить измерение полного сопротивления петли короткого замыкания в цепи LN.*

Рекомендации: Эффективной и наиболее распространенной мерой безопасности является защита от косвенного прикосновения в цепях, оснащенных автоматическими выключателями сверхтоков. Метод заключается в быстром самостоятельном отключении питания при возникновении угрожающего напряжения прикосновения на доступных проводящих элементах электроустановок. Проводящие элементы устройства соединены с защитным проводом сети. В момент возникновения на них опасного напряжения прикосновения, вызванного металлическим замыканием с фазным проводом сети, начинается течение тока в цепи фаза – защитный провод, называемого током замыкания. Течение данного тока приводит к срабатыванию автоматического выключателя и отключению питания. Условием, которого следует выполнить для эффективности степени защиты автоматического выключателя, является строго кратковременное нахождение доступных элементов под действием опасного напряжения прикосновения. Таким образом, защита должна сработать с достаточным быстродействием за временные промежутки, величины которых установлены нормативами. Условия нормальной защиты можно описать уравнением (2.1):

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_A} \quad (2.1)$$

где: Z_s – полное сопротивление петли короткого замыкания, Ом;

I_A – ток, вызывающий срабатывание защиты в течение необходимого времени, А;

U_0 – номинальное напряжение сети относительно земли, В.

Порядок проведения работы

1. *Измерение полного сопротивления петли короткого замыкания в цепи LPE.*

Измерение полного сопротивления петли короткого замыкания в цепи L-PE можно произвести приборами MZC-303E и MPI-5XX в режиме $Z_L\text{-PE[RCD]}$.

Использование другого измерителя или другого режима может привести к срабатыванию УЗО в демонстрационном стенде.

Для проведения измерения нужно:

1. подключить сетевой кабель к гнезду демонстрационного стенда;
2. выбрать тип сети ТТ или TN, используя соответствующие переключки, см. рис. 2.3;

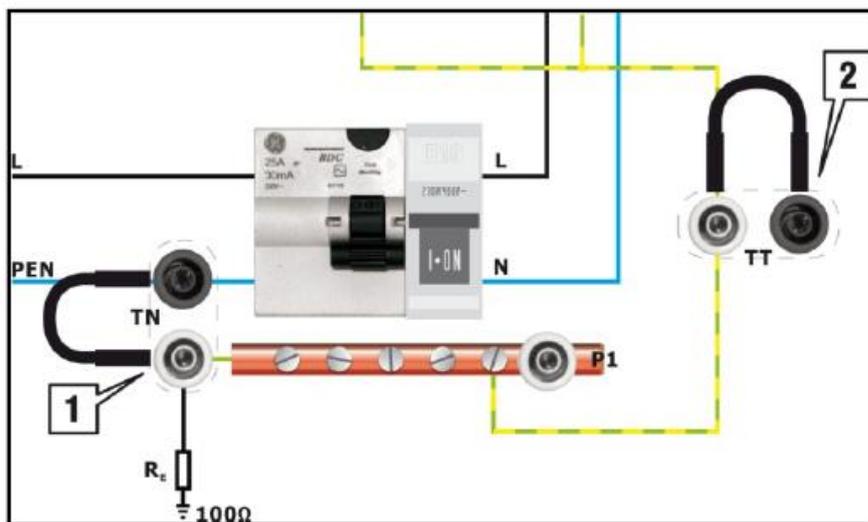


Рисунок 2.3-Установленная переключка ТТ (TN)

3. все переключатели, имитирующие неисправности, поставить в положение «зеленые»;
4. включить УЗО, автоматический выключатель дифференциального тока;
5. подключить измеритель проводами к сетевому гнезду стенда согласно рис. 2.4;
6. выполнить измерение, заполнить таблицу 2.2.

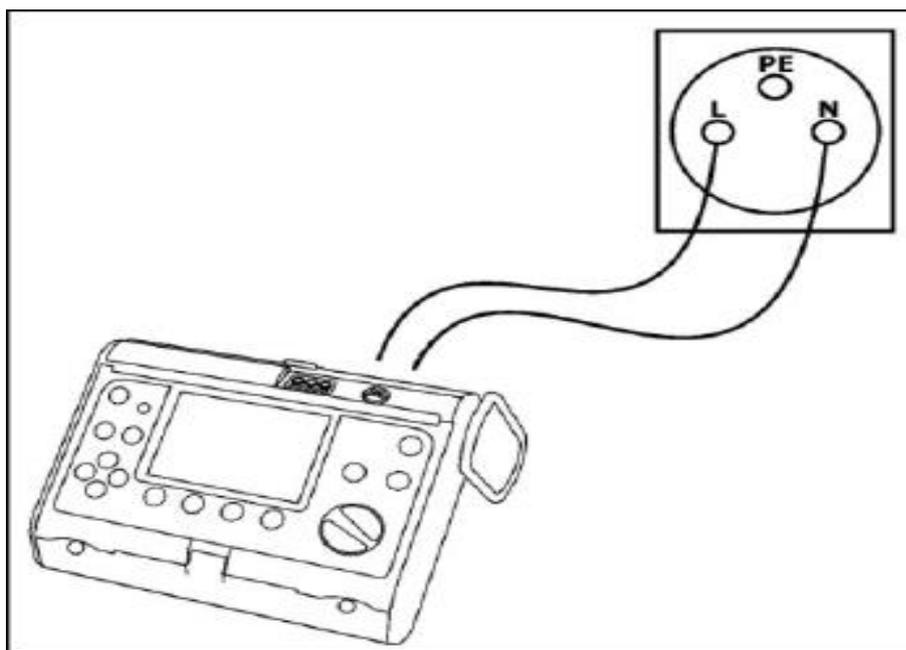


Рисунок 2.4 - Подключение измерителя

Для измерения сопротивления петли короткого замыкания следует до выполнения замера установить переключатель ZL в «красное» положение. По окончании измерения переключатель ZL нужно перевести обратно в положение «зеленое».

Таблица 2.2 - Результаты измерения

Для измерения полного сопротивления петли короткого замыкания в цепи LPE.			
Положение переключателя	ZL-PE	ZL-N	Ω
Переключатель ZL «зеленый» для сети TN (перемычка TN)			
Переключатель ZL «красный» для сети TN (перемычка TN)			
Переключатель ZL «зеленый» для сети TT (перемычка TT)			
Переключатель ZL «красный» для сети TT (перемычка TT)			
Для измерения полного сопротивления петли короткого замыкания в цепи LN			
Переключатель ZL «зеленый» для сети TN (перемычка TN)			
Переключатель ZL «красный» для сети TN (перемычка TN)			
Переключатель ZL «зеленый» для сети TT (перемычка TT)			
Переключатель ZL «красный» для сети TT (перемычка TT)			

Выводы: _____

где: ZL-N сети – полное сопротивление сети в цепи L-N, к которой подключен силовой провод демонстрационного стенда.

2. Измерения полного сопротивления петли короткого замыкания в цепи LN.

Замер можно произвести любым прибором для измерения петли замыкания с током замыкания не выше 25 А и временем измерения, не превышающим 60 мс, например, MZC-30X, MZC-20X, MIE-5XX, MPI-5XX.

Для выполнения измерения следует:

- подключить сетевой кабель к гнезду демонстрационного стенда;
- выбрать тип сети TT или TN, используя соответствующие перемычки (рис. 2.3);
- все переключатели, имитирующие неисправности, поставить в положение «зеленые»;
- включить УЗО;
- подключить измеритель проводами к сетевому гнезду стенда согласно рис. 2.4;
- выполнить измерение.
- заполнить таблицу 2.2.

Демонстрационный стенд позволяет выполнить измерение сопротивления петли короткого замыкания, значение которого может быть искусственно увеличено (имитация неисправности). Для этого следует до выполнения замера установить переключатель ZL в «красное» положение. По окончании измерения переключатель ZL нужно перевести обратно в положение «зеленое».

Контрольные вопросы:

1. Какие схемы заземления вы знаете?
2. Опишите и начертите схему TN в тетради.
3. Опишите и начертите схему TT в тетради.
4. Дайте определение следующим терминам: рабочее заземление, защитное заземление, фаза, электроустановка.
5. Формула расчета полного сопротивления цепи.

Содержание отчета:

1. Номер работы.
2. Задание и цель работы.
3. Таблица 3.1.
4. Выводы.
5. Ответы на контрольные вопросы.

2.3 Практическая работа 2. Измерение параметров выключателей дифференциального тока (УЗО)

Цель: *Научиться выполнять измерение параметров выключателей дифференциального тока (УЗО).*

Задание: *Выполнить измерение параметров выключателей дифференциального тока (УЗО).*

Рекомендации: Основной функцией выключателя дифференциального тока (RCD англ. Residual Current Device) является дополнительная защита от поражения электрическим током. Задача выключателя дифференциального тока сводится к отключению защищаемой цепи от питания, при появлении в ней тока утечки на корпус электроустановки [6]. Измерительный элемент выключателя УЗО непрерывно контролирует дифференциальный ток I_{Δ} и отключает защищаемую цепь от питания, если дифференциальный ток превысит значение, установленное для данного выключателя. Такой величиной является номинальный дифференциальный ток, обозначенный как $I_{\Delta n}$. Напряжение на корпусе защищаемого устройства, согласно закону Ома, составляет (2.2):

$$U_{в} = I_{\Delta} \cdot R_{E} \quad (2.2)$$

где R_E – сопротивление заземляющего устройства.

Порядок проведения работы

Для выполнения измерений следует:

- подключить сетевой кабель к гнезду демонстрационного стенда;

- выбрать тип сети TT или TN, используя соответствующие переключки (рис. 2.3);
- все переключатели, имитирующие неисправности, поставить в положение «зеленые»;
- включить УЗО;
- подключить измеритель проводами к сетевому гнезду стенда согласно рис. 2.5;
- выполнить замер;
- заполнить таблицу 2.3.

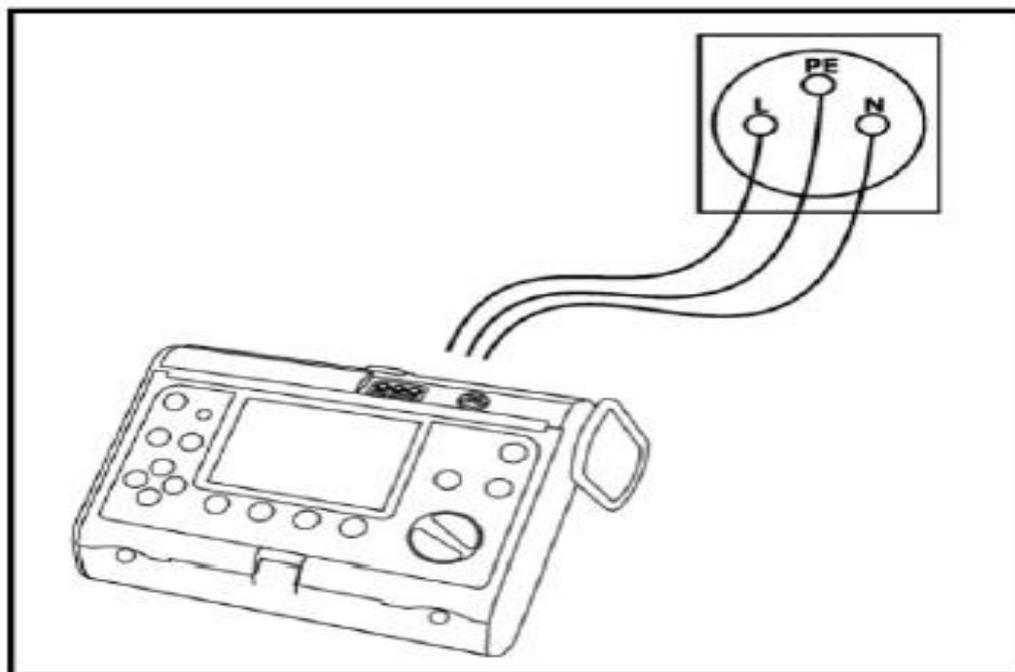


Рисунок 2.5 - Подключение прибора

Демонстрационный стенд позволяет имитировать неисправности системы, оснащенной выключателем дифференциального тока:

- Переключатель RCD-TA в «красном» положении имитирует дефект, заключающийся в контакте провода N с PE за выключателем дифференциального тока. Во время измерения при подобном дефекте выключатель дифференциального тока не срабатывает, а измерительный прибор выдаст соответствующее сообщение, например, «RCD».

- Переключатель RCD-IA в «красном» положении вводит дополнительную утечку тока на провод PE. Во время замера при подобном дефекте УЗО срабатывает несвоевременно (измерение T_A и I_A будет невозможно). Измерительный прибор выдаст соответствующее сообщение, например Err.

- Переключатель U_B в «красном» положении имитирует появления поражающего напряжения прикосновения во время измерения параметров УЗО. Прибор выдаст соответствующее сообщение, например, $U_B > 25 \text{ V}$. Чтобы измеритель заблокировал замеры и отобразил данное сообщение,

допустимое напряжение прикосновения, установленное в приборе, U_L не может превышать 25 В. В том случае, если допустимое напряжение прикосновения U_L при измерении будет установлено на 50 В, прибор произведет измерения и покажет результаты.

Таблица 2.3 - Результаты измерения

Положение переключателя	IA	TA	UB	RE
«Зеленые» RCD-TA, RCD-IA и UB для сетей TN и TT				
UB «красный» для сетей TN и TT				
RCD-TA „красный” для сетей TN и TT:				
RCD-IA „красный” для сетей TN и TT				

Выводы: _____

Контрольные вопросы:

1. Классификация УЗО?
2. Устройство УЗО?
3. Принципиальное отличие ВА от УЗО.
4. Дайте определение следующим терминам: трансформатор тока, рабочий ток, ток утечки, рабочее и номинальное напряжение ЭУ.
5. Параметры выбора УЗО.

Содержание отчета:

1. Номер работы;
2. Задание и цель работы;
3. Таблица 3.2;
4. Ответы на контрольные вопросы;
5. Выводы.

2.4 Практическая работа 3. Измерение сопротивления заземлителей

Цель: *Научиться выполнять измерение параметров выключателей дифференциального тока (УЗО).*

Задание:

1. Выполнить измерение сопротивления заземлителей приборами серии MRU

- Измерение сопротивления заземления RE;
- Измерение сопротивления заземления RE1;
- Измерение сопротивления заземления RE2;
- Измерение сопротивления заземления RE2 с использованием токовых клещей:

- Измерение сопротивления заземления RE2 методом двух клещей.

2. Выполнить измерение сопротивления заземлителей приборами серии MZC

- Измерение сопротивления заземления RE;
- Измерение сопротивления заземления RE1.

Рекомендации: Качество заземлений существенным образом влияет на безопасность эксплуатации системы и электрических устройств, особенно на эффективность защиты от удара электрического тока и громоотводов. Заземления выполняют и другие функции, связанные с безопасностью, например, служат для отвода электрических зарядов в объектах, где существует опасность взрыва (например, на заправочных станциях). Для проверки электрических систем и выполнения требований, относящихся к поражению электрическим током, необходимо выполнить измерения сопротивления заземления. Данное сопротивление позволяет установить величину напряжения касания, которое может появиться между разными проводящими частями на защитном проводе.

При измерениях сопротивления отдельных заземлителей чаще всего применяется трехполюсный метод измерения. Он заключается в забивке измерительных электродов в грунт, вблизи проверяемого заземлителя, и принудительном генерировании тока в цепи: измерительный прибор – исследуемый заземлитель – токовый электрод – измерительный прибор.

Измерения многократных заземлителей можно выполнить методом, описанным выше, последовательно отсоединяя заземлители на время измерения. Поскольку данный процесс трудоемкий, измерительные приборы, оборудованные токоизмерительными клещами, дают возможность измерения без отключений в системе многократных заземлителей. При этом методе электроды тока и напряжения размещаются аналогично трехполюсному методу, только ток измеряется при помощи клещей, зажатых на данном заземлении. Измеритель рассчитывает сопротивление, зная ту часть тока, которая протекает через исследуемый заземлитель игнорируя при этом токи, протекающие через соседние заземлители. Однако метод измерения клещами нельзя использовать в тех разветвленных системах, где отдельные заземлители соединены друг с другом под землей.

Измерения повторных заземлителей можно производить методом двух клещей. Данное измерение выполняют при помощи двух клещей - кроме измерительных клещей необходимы так называемые «передающие» (с другим внутренним устройством). Генерирующие клещи индуцируют ток в исследуемой цепи. Величина тока измеряется измерительными клещами. Результатом измерения является сопротивление всей цепи, в котором протекает ток измерения. Применяя данный метод, следует не забывать о его условиях: эта функция отлично зарекомендовала себя при замерах повторных заземлителей с малыми и средними величинами сопротивления. Условием точности измерения является то обстоятельство, при котором величина сопротивления исследуемого заземлителя была значительно выше равнодействующего сопротивления всей системы заземления (метод двух клещей измеряет сумму сопротивления обследуемой перемычки и равнодействующей прочих перемычек). Главным и значительным достоинством данного измерения является отсутствие необходимости забивки дополнительных электродов.

Существует еще один способ выполнения измерений сопротивления заземлений. Это измерение импульсного сопротивления заземлений. Данный замер предназначен для диагностики динамических параметров громоотводов. Измерение импульсного сопротивления заземлителей выполняется при возбуждении импульса, формой соответствующей импульсу молнии. Параметры импульса определяются двумя величинами: время длительности атаки t_1 и период длительности до половины пика t_2 . Стенд DB1 позволяет выполнять замеры сопротивления заземления трех разных заземлителей RE, RE1, RE2. Измерение сопротивления заземления RE2 может производиться и с клещами. Для выполнения такого измерения, вместо перемычки на E2 нужно применить вспомогательный провод, которым оснащён стенд, и зажать на нем клещи.

Для замеров сопротивления заземлителей на стенде DB1 можно использовать измерители серии MRU-10X, MRU-20X. Допустимо применение измерителей, предназначенных для замеров петли замыкания. Однако применение подобного прибора может привести к срабатыванию выключателя УЗО.

Порядок проведения работы

1. Измерение сопротивления заземлителей приборами серии MRU

1.1. Измерение сопротивления заземления RE

Для выполнения измерения сопротивления заземления RE нужно:

- отключить сетевой провод 220/230В АС от гнезда демонстрационного стенда;
- вынуть перемычки TN или TT, перемычки ZW H2O, перемычки заземлителя RE1: ZW RE1;
- можно поставить перемычку на заземлитель RE2;
- подключить измеритель сопротивления заземлений (MRU-XXX) к гнездам согласно рис. 2.6;
- выполнить измерение, заполните таблицу 2.4.

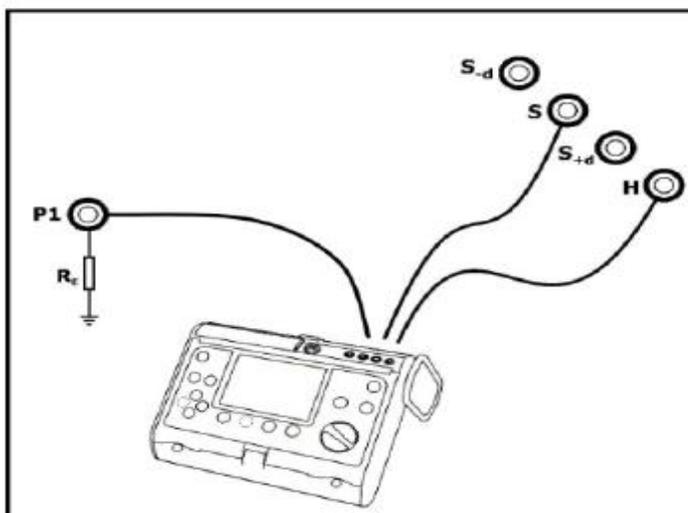


Рисунок 2.6 - Подключение измерителя

1.2. Измерение сопротивления заземления $RE1$, для этого необходимо:

- отключить сетевой провод 220/230 В АС от гнезда демонстрационного стенда;
- вынуть перемычки TN или TT, перемычки ZW H2O, перемычки заземлителя $RE1$: ZW $RE1$;
- можно поставить перемычку на заземлитель $RE2$;
- подключить измеритель сопротивления заземлений (MRU-XXX) к гнездам согласно рис. 2.7;
- выполнить измерение, заполните таблицу 2.4.

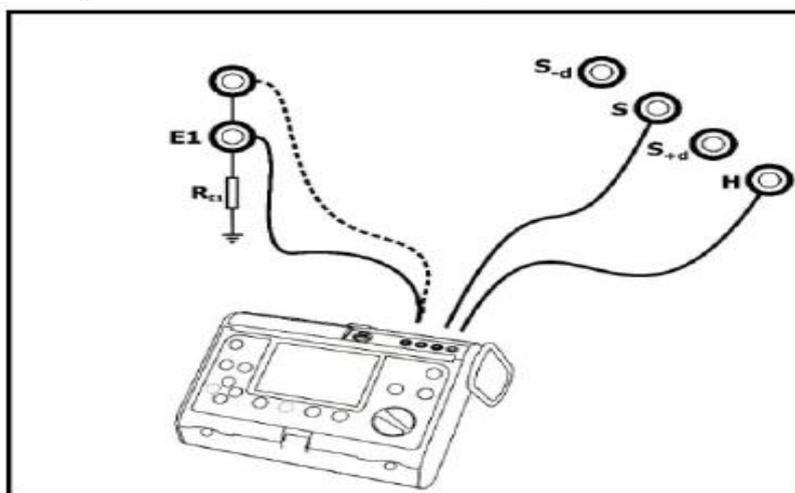


Рисунок 2.7-Подключение измерителя

1.3. Измерение сопротивления заземления $RE2$

Для выполнения измерения сопротивления заземления $RE2$ нужно:

- отключить сетевой провод 220/230 В АС от гнезда демонстрационного стенда;
- вынуть перемычки TN или TT, перемычки ZW H2O, перемычки заземлителя $RE1$: ZW $RE1$;
- поставить перемычку на заземлитель $RE2$: ZW $RE2$;
- подключить измеритель сопротивления заземлений (MRU-XXX) к гнездам согласно рис. 2.8;
- выполнить измерение, заполните таблицу 2.4.

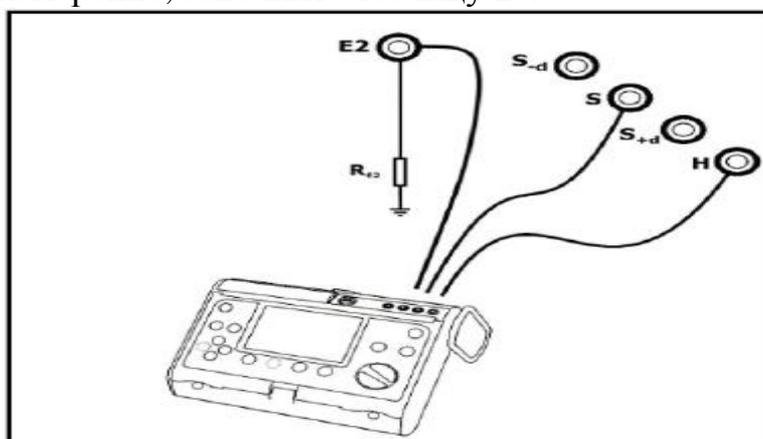


Рисунок 2.8 - Подключение измерителя

1.4. Измерение сопротивления заземления RE2 с использованием токовых клещей

Для выполнения замера сопротивления заземления RE2 с применением токовых клещей нужно:

- отключить сетевой провод 220/230В АС от гнезда демонстрационного стенда;
- при замере тока измерения клещами все переключки устанавливаются произвольно;
- использовать вспомогательный провод, заменяющий переключку на E2;
- подключить измеритель сопротивления заземлений (MRU-XXX) к гнездам согласно рис. 2.9;
- выполнить измерение, заполните таблицу 2.4.

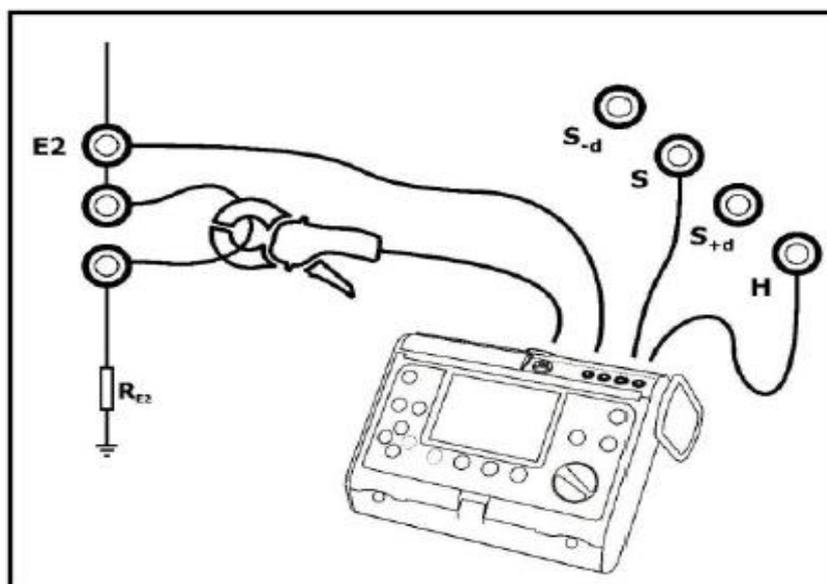


Рисунок 2.9 - Подключение измерителя

1.5. Измерение сопротивления заземления RE2 методом двух клещей

Для выполнения измерения заземления RE2 методом двух клещей нужно:

- отключить сетевой провод 220/230В АС от гнезда демонстрационного стенда;
- поставить переключку на заземлитель ZW RE1;
- снять переключки TN или TT, переключку ZW H2O;
- использовать вспомогательный провод, заменяющий переключку на E2;
- подключить измеритель сопротивления заземлений (MRU-20X) к гнездам согласно рис. 2.10;
- выполнить измерение, заполните таблицу 2.4.

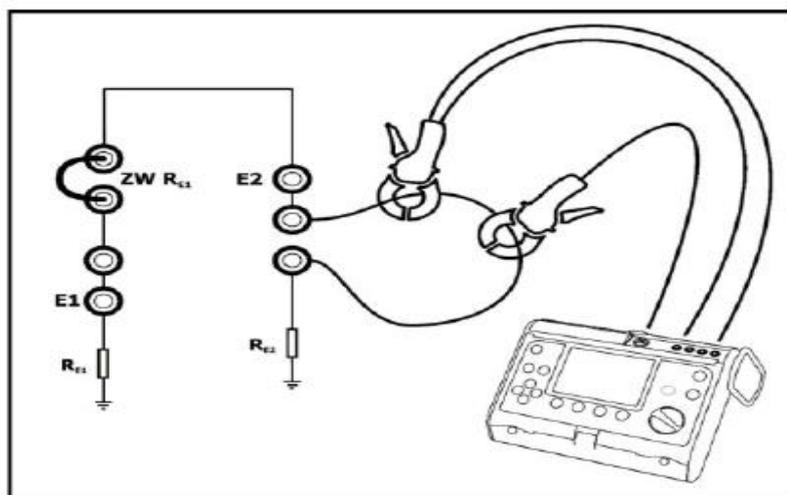


Рисунок 2.10 - Подключение измерителя

Таблица 2.4 - Результаты измерения

Измерение сопротивления заземлителей приборами серии MRU		
Измерение сопротивления заземления RE		
R_E	R_H	R_S
Измерение сопротивления заземления RE1		
RE1	R_H	R_S
Измерение сопротивления заземления RE2		
R_E	R_H	R_S
Измерение сопротивления заземления RE2 с использованием токовых клещей		
R_E	R_H	R_S
Измерение сопротивления заземления RE2 методом двух клещей		
R_E	R_H	R_S
Измерение сопротивления заземлителей приборами серии MZC		
Измерение сопротивления заземления RE		
RE=		
Измерение сопротивления заземления RE1.		
RE1=		
Измерение сопротивления заземления RE2.		
RE=		

2 Измерение сопротивления заземлителей приборами серии MZC

Измерение сопротивления заземлителей также можно выполнить при помощи приборов для измерения полного сопротивления петли короткого замыкания. При этом в качестве вспомогательного источника тока измерения используется фазный провод сети. Результатом измерения является сумма сопротивлений исследуемого заземлителя, рабочего заземления, источника и

фазного провода. Если же результат не превышает значения, допустимого для исследуемого заземлителя, то можно считать, что заземление выполнено в соответствии с нормами и в более точных измерениях необходимости нет. Использование некоторых измерительных приборов для измерения полного сопротивления петли короткого замыкания может вызывать срабатывание выключателя дифференциального тока УЗО. На это влияют максимальный ток измерения и время коммутации данного тока прибором. Во избежание срабатывания выключателя дифференциального тока следует применить измерение полного сопротивления петли короткого замыкания в режиме ZL-PE[RCD].

1.1 Измерение сопротивления заземления RE

Для измерения сопротивления заземления RE следует:

- подключить сетевой провод 220/230В AC к гнезду демонстрационного стенда;
- вынуть переключки TN или TT, переключки ZW H2O, переключки заземлителя RE1: ZW RE1;
- поставить переключку на заземлитель RE2;
- включить УЗО;
- подключить измеритель сопротивления петли короткого замыкания в соответствии с рис. 2.11;

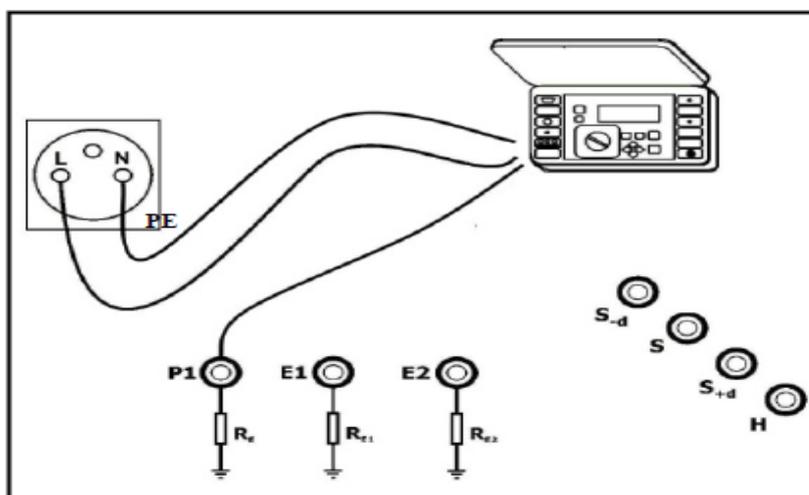


Рисунок 2.11 - Подключение измерителя

- выполнить измерение;
- измерение может привести к срабатыванию УЗО (измерение невозможно).
- заполните таблицу 2.4.

1.2. Измерение сопротивления заземления RE1.

Для измерения сопротивления заземления RE1 следует:

- подключить сетевой провод 220/230 В АС к гнезду демонстрационного стенда;
- вынуть переключки TN или TT, переключки ZW Н2О, переключки заземлителя RE1: ZW RE1;
- включить УЗО;
- подключить измеритель сопротивления петли короткого замыкания в соответствии с рис. 2.12;

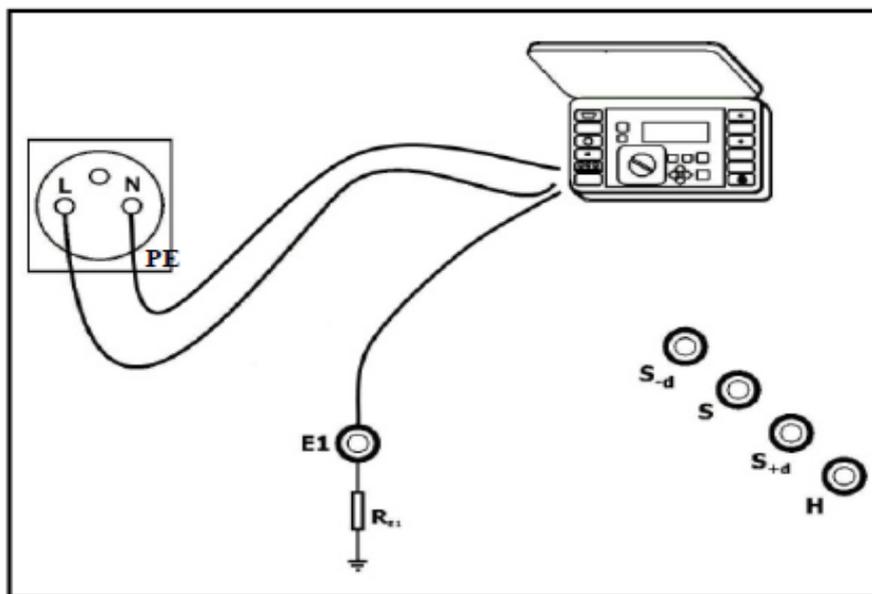


Рисунок 2.12 - Подключение измерителя

- выполнить измерение;
- измерение может привести к срабатыванию УЗО (измерение невозможно).
- заполните таблицу 2.4.

1.3. Измерение сопротивления заземления RE2.

Для измерения сопротивления заземления RE2 следует:

- подключить сетевой провод 220/230В АС к гнезду демонстрационного стенда;
- вынуть переключки TN или TT, переключки ZW Н2О, переключки заземлителя RE1: ZW RE1;
- поставить переключку на заземлитель RE2;
- включить УЗО;
- подключить измеритель сопротивления петли короткого в соответствии с рис. 2.13;
- выполнить измерение;
- измерение может привести к срабатыванию УЗО (измерение невозможно).
- заполните таблицу 2.4.

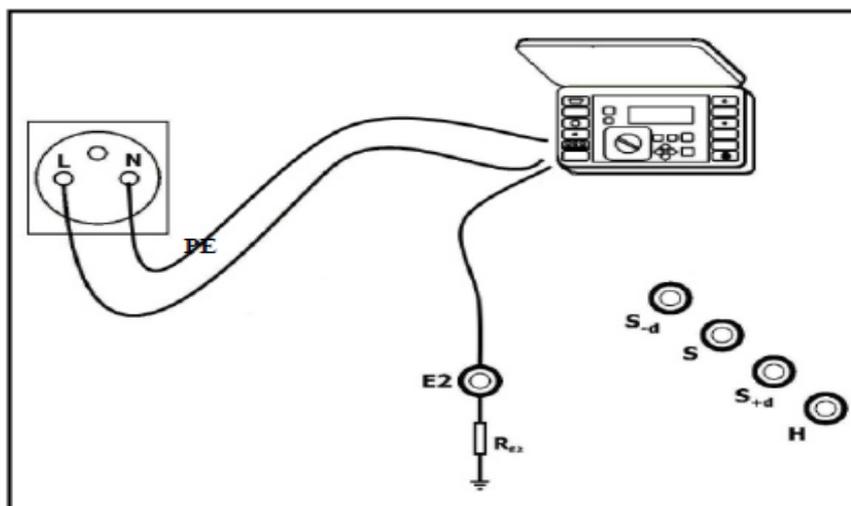


Рисунок 2.13 - Подключение измерителя

- выполнить измерение;
- измерение может привести к срабатыванию УЗО (измерение невозможно).
- заполните таблицу 2.4.

Контрольные вопросы:

1. Кратко опишите методику расчета защитного заземления.
2. Начертите схему контурного и выносного заземления.
3. Периодичность проверки контура заземления со вскрытием грунта.
4. Дайте определение следующим терминам: заземляющее устройство, заземлитель, естественное заземление, искусственное заземление.
5. Опишите последовательность монтажа ЗУ.

Содержание отчета:

1. Номер работы.
2. Задание и цель работы.
3. Таблица 2.4.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Выводы.

2.5 Практическая работа 4. Измерения удельного сопротивления грунта

Цель: *Научиться выполнять измерение удельного сопротивления грунта*

Задание: *Выполнить измерение удельного сопротивления грунта.*

Рекомендации: Измерения удельного сопротивления грунта проводятся при подготовке проектов заземлений, а также при проведении измерений сопротивлений заземляющих устройств.

Измерения удельного сопротивления грунта проводятся с применением четырех электродов, линейно располагаемых на равных расстояниях (метод Веннера). Современные измерительные приборы имеют функцию ввода расстояния между электродами, и все расчеты производятся автоматически. Измеритель отображает значения сопротивлений измерительных зондов (Ω), и удельного сопротивления грунта ($\Omega\text{м}$).

Порядок проведения работы:

Для проведения измерения необходимо:

- отключить сетевой провод 220/230В АС от гнезда демонстрационного стенда;
- подключить измеритель сопротивления заземлений и удельного сопротивления грунта (MRU-XXX) к гнездам согласно рис. 2.14;

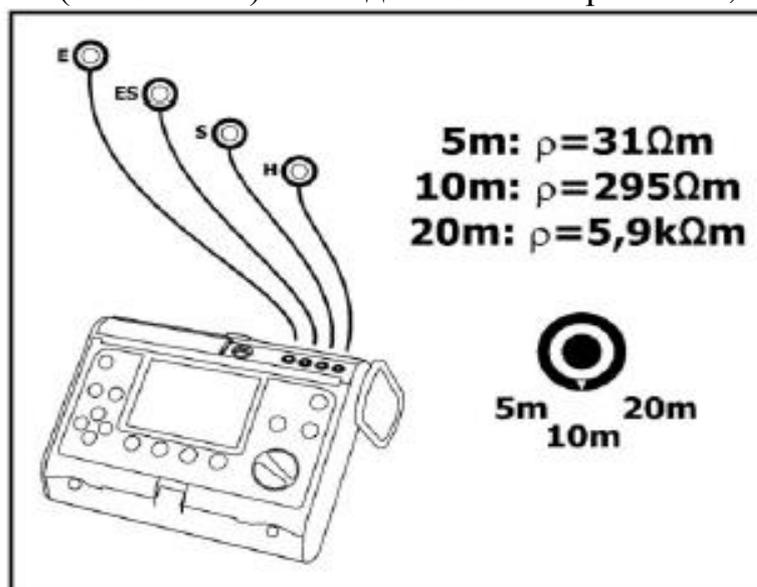


Рисунок 2.14 - Подключение измерителя

- поставить переключатель «выбора типа грунта» в нужное положение;
- выполнить измерение, введя до этого в прибор соответствующее значение расположения измерительных электродов.
- заполните таблицу 2.5.

Таблица 2.5 - Результаты измерений

№п/п	Положение переключателя m	ρ , $\Omega\text{м}$
1	в положении 5 m	
2	в положении 10 m	
....		

Выводы: _____

Контрольные вопросы:

1. Нужно ли учитывать климатическую зону при расчете ЗУ?
2. На какую глубину нужно погружать вертикальные стержни ЗУ?
3. Каким способом необходимо соединять заземляющий проводник и заземлитель.
4. Дайте определение следующим терминам: удельное сопротивление, ток растекания.
5. R ЗУ для ЭУ до и выше 1000 В.

-

Содержание отчета:

1. Номер работы.
2. Задание и цель работы.
3. Таблица 2.5.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Выводы.

2.6 Практическая работа 5. Измерение сопротивления соединений выравнивания потенциалов

Цель: Научиться выполнять измерения сопротивления соединений выравнивания потенциалов.

Задание: 1. Выполнить измерение сопротивления соединения выравнивания потенциалов точки P1 с точкой P2;

2. Выполнить измерение сопротивления соединения выравнивания потенциалов точки P1 с точкой P3.

Рекомендации: При помощи демонстрационного стенда можно имитировать измерение сопротивления соединений выравнивания потенциалов электрической системы. Измерение можно проводить между точкой P1 эквипотенциальной шины и точками P2 или P3. Есть возможность имитации неисправности, связанной с сопротивлением соединения точки выравнивания потенциалов P2, и точкой P1. Для включения данной функции переключатель RE, имитирующий неисправность, ставится в положение «красное».

Порядок проведения работы

1. Измерение сопротивления соединения выравнивания потенциалов точки P1 с точкой P2

Для выполнения измерения сопротивления соединения выравнивания потенциалов точек P1 и P2 необходимо:

- отключить сетевой провод 220/230В АС от гнезда демонстрационного стенда;
- все переключатели, имитирующие неисправности, установить в «зеленое» положение;
- выключить УЗО;
- подключить провода измерителя к гнезду стенда, как на рис. 2.15;
- провести замер;
- поменять положение переключателя, имитирующего неисправность, RE на «красное»;
- выполнить замер; заполнить таблицу 2.6.

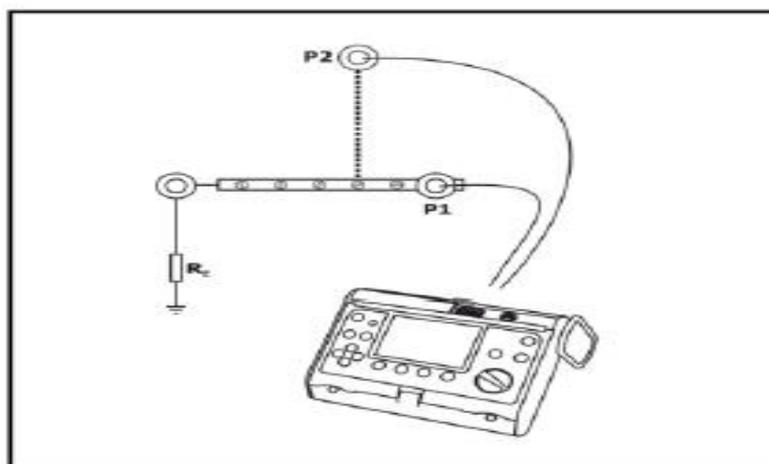


Рисунок 2.15 - Подключение измерителя

Таблица 2.6 - Результаты измерений

№п/п	Положение переключателя	Rcont (P1-P2), Ω
Измерение сопротивления соединения выравнивания потенциалов точки P1 с точкой P2		
1	Переключатель RE в «зеленом» положении	
2	Переключатель RE в «красном» положении:	
Измерение сопротивления соединения выравнивания потенциалов точки P1 с точкой P3		
		Rcont (P1-P3), Ω
1	Переключатель RE в «зеленом» положении	
2	Переключатель RE в «красном» положении:	

Выводы: _____

2. Измерение сопротивления соединения выравнивания потенциалов точки P1 с точкой P3

Для выполнения измерения сопротивления соединения выравнивания потенциалов точек P1 и P3 необходимо:

- отключить сетевой провод 220/230 В АС от гнезда демонстрационного стенда;

- все переключатели, имитирующие неисправности, установить в «зеленое» положение;
- выключить УЗО;
- подключить провода измерителя к гнезду стенда, как на рис. 2.16;
- провести замер; заполнить таблицу 2.6.

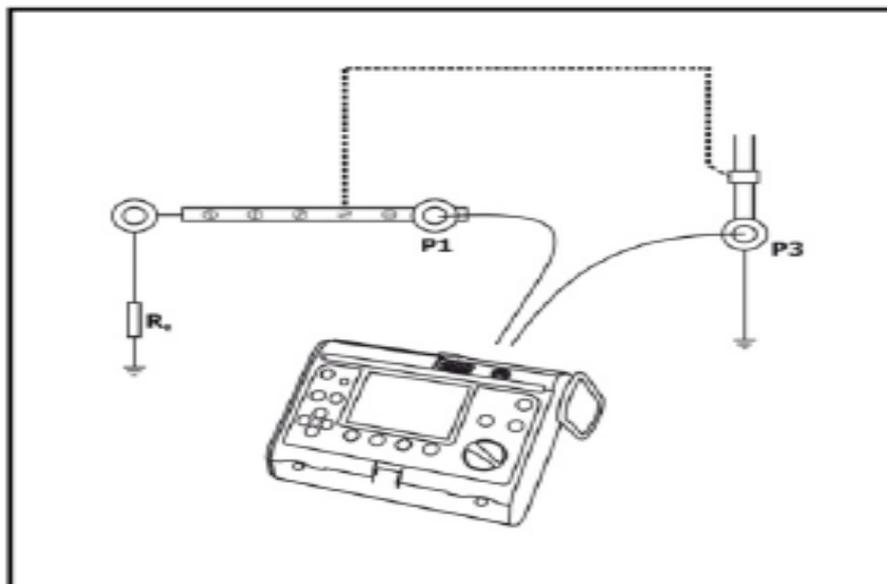


Рисунок 2.16 - Подключение измерителя

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение следующим терминам: потенциал, электрическое напряжение, напряженность электрического поля.
2. Способы соединения проводников.

Содержание отчета:

1. Номер работы.
2. Задание и цель работы.
3. Таблица 2.6.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Выводы.

2.7 Практическая работа 6. Измерение сопротивления изоляции

Цель: *Научиться выполнять измерение сопротивления изоляции*

Задание: *1. Выполнить измерение сопротивления изоляции в цепи L и N.*

2. Измерение сопротивления изоляции в цепи L и PE.

Рекомендации: Измерения сопротивления изоляции служат для определения состояния изоляции системы и приемников электроэнергии. Состояние изоляции имеет решающее значение для безопасности эксплуатации

и нормальной работы электрических устройств. Перед выполнением замеров нужно убедиться в том, что исследуемый объект отключен от сети питания. Для этих целей измерители производства SONEL S.A. оборудованы вольтметрами. Демонстрационный стенд позволяет имитировать измерения сопротивления изоляции. Измерения можно проводить в цепях L-N и L-PE.

ВНИМАНИЕ: Испытательное напряжение не должно превышать 1 кВ.

Порядок проведения работы

1. Измерение сопротивления изоляции в цепи L и N

Для выполнения замера сопротивления изоляции в цепи L-N нужно:

- отключить сетевой провод 220/230В АС от гнезда демонстрационного стенда;
- все переключатели – имитаторы неисправностей установить в «зеленое» положение;
- выключить УЗО;
- подключить провода измерителя к гнезду стенда, как показано на рис. 2.17;
- выполнить замер;
- сменить положение переключателя, имитирующего неисправность сопротивления изоляции, RISO(L-N) на «красное»;
- выполнить измерение;
- заполнить таблицу 2.7.

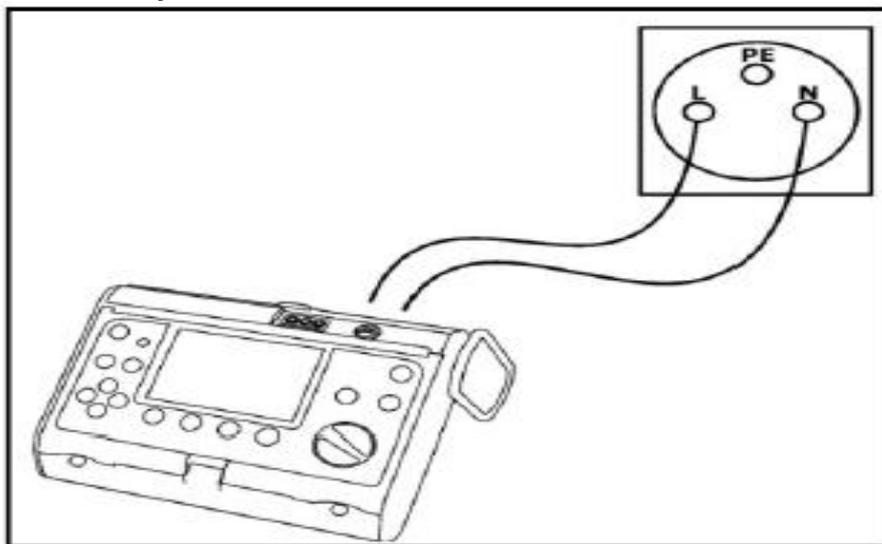


Рисунок 2.17 - Подключение измерителя

2. Измерение сопротивления изоляции в цепи L и PE

Для выполнения замера сопротивления изоляции в цепи L- PE нужно:

- отключить сетевой провод 220/230 В АС от гнезда демонстрационного стенда;
- все переключатели – имитаторы неисправностей установить в «зеленое» положение;
- выключить УЗО;
- подключить провода измерителя к гнезду стенда, как показано на рис. 2.18;
- выполнить замер;
- сменить положение переключателя, имитирующего неисправность сопротивления изоляции, RISO(L-PE) на «красное»;
- выполнить измерение;
- заполнить таблицу 2.7.

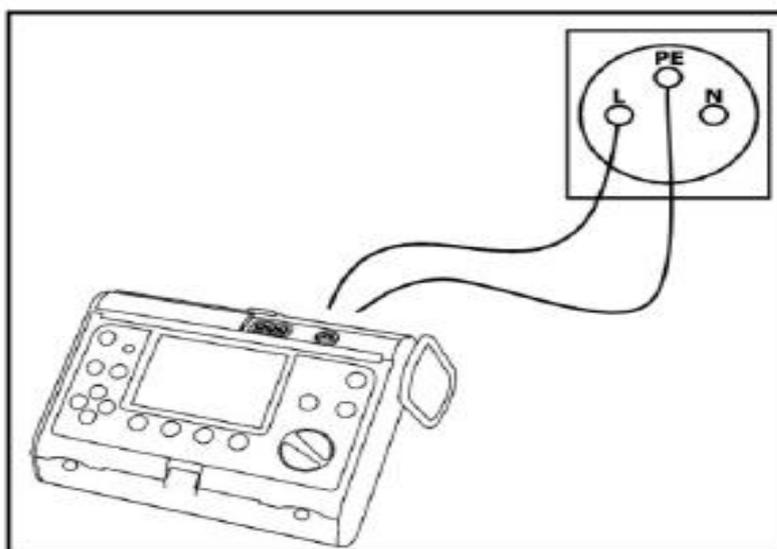


Рисунок 2.18 - Подключение измерителя

Таблица 2.7 - Результаты измерений

Измерение сопротивления изоляции в цепи L и N	
Положение переключателя	RISO(L-N), MΩ
Переключатель RISO(L-N) «зеленое» положение:	
Переключатель RISO(L-N) «красное» положение:	
Измерение сопротивления изоляции в цепи L и PE	
Положение переключателя	RISO(L-PE) ≥
Переключатель RISO(L-PE) «зеленое» положение:	
Переключатель RISO(L-PE) «красное» положение:	

Выводы: _____

Контрольные вопросы:

1. Нужно ли учитывать климатическую зону при расчете ЗУ?
2. На какую глубину нужно погружать вертикальные стержни ЗУ?

3. Каким способом необходимо соединять заземляющий проводник и заземлитель.

4. Дайте определение следующим терминам: удельное сопротивление, ток растекания.

5. R ЗУ для ЭУ до и выше 1000 В.

Содержание отчета:

1. Номер работы;
2. Задание и цель работы;
3. Таблица 2.7;
4. Ответы на контрольные вопросы
5. Выводы.

3 ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НА ДЕМОНСТРАЦИОННОМ СТЕНДЕ ТЕ-30

3.1 Общая характеристика демонстрационного стенда ТЕ-30 - измерителя параметров заземляющих устройств

ТЕ-30 - многофункциональный измеритель параметров заземляющих устройств и молниезащит. Прибор позволяет измерять параметры ЗУ как классическими методами (3-х или 4-х полюсная схема), так и бесконтактным (метод двух клещей), что особенно актуально в городских условиях, где отсутствует возможность для использования вспомогательных электродов. Благодаря современной конструкции прибор характеризуется широкими измерительными функциями (в том числе анализ условий, отрицательно влияющих на точность полученных результатов, измерение сопротивления соединений заземлителей с заземляемыми элементами и устройствами выравнивания потенциалов током не менее 200 мА с разрешением 0,01 Ом).



Рисунок 3.1 – Внешний вид стенда ТЕ для измерения параметров заземляющих устройств

3.1.1 Основные характеристики прибора

Прибор произведен в России и адаптирован под суровые климатические условия: от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

В случае разрядки аккумуляторной батареи, измеритель можно зарядить от автомобильного прикуривателя (внешнего аккумулятора 12 В) или

проводить измерения просто подключившись к сети 220-230 В. Прибор позволяет произвести :

- измерение сопротивления контактных соединений заземляющих, защитных проводников и проводников системы уравнивания потенциалов;
- измерение сопротивления заземляющих устройств по трёхполюсной схеме (3р);
- измерение сопротивления заземляющих устройств по четырехполюсной схеме (4р);
- измерение сопротивления многоэлементных заземляющих устройств без разрыва цепи заземлителей (с применением токоизмерительных клещей);
- измерение сопротивления ЗУ по двухполюсной схеме 2Р (проверка целостности цепи);
- измерение сопротивления заземляющих устройств методом двух клещей;
- измерение удельного сопротивления грунта методом Веннера с возможностью выбора расстояния между измерительными электродами;
- высокая помехоустойчивость;
- работа прибора от внутреннего аккумулятора, сети 220 В, автомобильной сети 12 В ("прикуривателя") или внешнего аккумулятора;
- сохранение результатов измерений в память и передача данных на ПК;
- совместим с ПО Sonel Reader и СОНЭЛ Протоколы 2.0;
- рабочий диапазон температур от -20°C до +50°C.

Таблица 3.1 - Измерение напряжения помехи UN (RMS)

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0...100 В	1 В	±(10% и.в. + 1 е.м.р.)

Измерение для f_N 45...65 Гц. Частота выполнения измерений – 2 измерения в секунду.

Таблица 3.2 - Измерение сопротивления заземления (2-х проводный метод)

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0,01 Ом...19,99 Ом	0,01 Ом	±(3% и.в.+ 3 е.м.р.)
20,0 Ом...199,9 Ом	0,1 Ом	±(3% и.в.+ 3 е.м.р.)
200 Ом...1999 Ом	1 Ом	±5%
2000 Ом...9999 Ом	1 Ом	±8%

Таблица 3.3 - Измерение сопротивления заземления (3-х и 4-х проводным методом)

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0,00 Ом...19,99 Ом	0,01 Ом	±(3% и.в.+ 3 е.м.р.)
20,0 Ом...199,9 Ом	0,1 Ом	±(3% и.в.+ 3 е.м.р.)
200 Ом...1999 Ом	1 Ом	±5%
2000 Ом...9999 Ом	1 Ом	±8%

Измерительный диапазон по ГОСТ Р МЭК 61557-5: 0,53 Ом...9999 Ом для $U_n=50$ В

Таблица 3.4 -Измерение сопротивления вспомогательных электродов

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0,00 Ом...999 Ом	1 Ом	±(5% и.в.+8 е.м.р.)
1,00 Ом...9,99 кОм	0,01 кОм	
10,0 Ом ... 19,9 кОм	0,1 кОм	

Таблица 3.5 - Измерение сопротивления многоэлементных заземлений с помощью клещей (3-х проводный метод с клещами)

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0,00 Ом...19,99 Ом	0,01 Ом	±(3% и.в.+ 3 е.м.р.)
20,0 Ом...199,9 Ом	0,1 Ом	±(3% и.в.+ 3 е.м.р.)
200 Ом...1999 Ом	1 Ом	±5%
2000 Ом...9999 Ом	1 Ом	±8%

Таблица 3.6 - Измерение сопротивления многоэлементных заземлений с помощью двух клещей

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0,00 Ом...19,99 Ом	0,01 Ом	±(10% и.в. + 8 е.м.р.)
20,0 Ом...149,9 Ом	0,1 Ом	±(20% и.в. + 3 е.м.р.)

Таблица 3.7 - Измерение сопротивления проводников присоединения к земле и выравнивания потенциалов (металлосвязь) (Rcont)

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0,00 Ом...9,99 Ом	0,01 Ом	±(2% и.в. + 2 е.м.р.)
10,0 Ом ... 99,9 Ом	0,1 Ом	
100 Ом ... 1999 Ом	1 Ом	

Измерительный диапазон по ГОСТ Р МЭК 61557-4: 0,13 Ом ...1999 Ом

Таблица 3.8 - Измерение удельного сопротивления грунта. Метод измерения Веннера (Wenner): $\rho = 2\pi LRE$

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0,0..199,9 Ом·м	0,1 Ом·м	Зависит от значения основной погрешности измерения RE в схеме 4р, но не меньше, чем ±1 е.м.р.
200..1999 Ом·м	1 Ом·м	
2,00..19,99 кОм·м	0,01 кОм·м	
20,0..99,9 кОм·м	0,1 кОм·м	
100..999 кОм·м	1 кОм·м	

Расстояние между измерительными зондами (L): 1 м...50м

3.1.2 Дополнительные технические характеристики прибора

- вид изоляции, двойная, в соответствии с PN-EN 61010-1 и PN-EN 61557
- измерительная категория..... III 300В по PN-EN 61010-1
- степень защиты корпуса, согласно PN-EN 60529IP65
- максимальное напряжение помехи АС + DC, при котором выполняется измерение 24 В
- максимальное измеряемое напряжение помех..... 100 В
- максимальный ток помехи, при котором возможно выполнить измерение сопротивления заземления с помощью клещей.....3 А(rms)
- частота измерительного тока 125 Гц для сети 50 Гц, 150 Гц для сети 60 Гц
- измерительное напряжение и ток для Rcont..... $U < 24$ В (rms), $I = 200$ мА
- измерительное напряжение для методов 2р, 3р, 4р 25 В или 50 В
- измерительный ток (короткого замыкания) для 3р, 4р 20 мА
- максимальное сопротивление измерительных электродов 20 кОм
- сигнализация слишком маленького тока клещей $\leq 0,5$ мА
- питание прибора пакет аккумуляторов типа SONEL NiMH 9,6 В 2 А·ч
- параметры зарядного устройства для аккумуляторов 100 В...240 В, 50 Гц...60 Гц
- количество измерений для Rcont..... > 1100 (1 Ом, 2 измерения/минуту)
- количество измерений для RE > 800 (RE=10 Ом, RH=RS=100 Ом, 2 измерения/минуту)
- время выполнения измерения сопротивления 2-х проводным методом < 4 с
- время выполнения измерения сопротивления остальными методами < 8 с
- размеры..... 288 x 223 x 75 мм
- масса прибора с аккумуляторами примерно 1,2 кг
- диапазон рабочих температур -20..+50 °С
- диапазон температур, позволяющий начать зарядку аккумулятора..... +10 °С...+40 °С
- температуры, при которых прерывается зарядка аккумулятора $< +5$ °С и $\geq +50$ °С
- температура при поверке 23 ± 2 °С
- температура хранения -20..+80 °С
- относительная влажность 20..85%
- номинальная относительная влажность..... 40..60%
- допустимая высота над уровнем моря < 2000 м

- стандарт качества, разработка, проект и производство в соответствии с ISO 9001
- прибор соответствует требованиям по электромагнитной совместимости (ЭМС), согласно стандартам PN-EN 61326-1:2006 и PN-EN 61326-2-2:2006.

Комплект поставки измерителя параметров заземляющих устройств TE-30 Sonel включает в себя:

1. Зажим «Крокодил» изолированный черный K01.
2. Зарядное устройство для аккумуляторов Z7, модель SYS1319-3012.
3. Зонд измерительный для забивки в грунт 30 см.
4. Зонд острый с разъёмом «банан» красный.
5. Кабель последовательного интерфейса USB.
6. Кабель сетевой.
7. Провод измерительный 1,2 м с разъёмами «банан» красный.
8. Провод измерительный 2,2 м с разъёмами «банан» черный.
9. Провод измерительный 25 м на катушке с разъёмами «банан» красный.
10. Провод измерительный 50 м на катушке с разъёмами «банан» желтый.
11. Футляр L10.

3.2 Методы измерения сопротивления заземляющих устройств

3.2.1 Общие требования

Характеристики заземляющего устройства (далее ЗУ) должны отвечать требованиям обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала и обеспечивать 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.

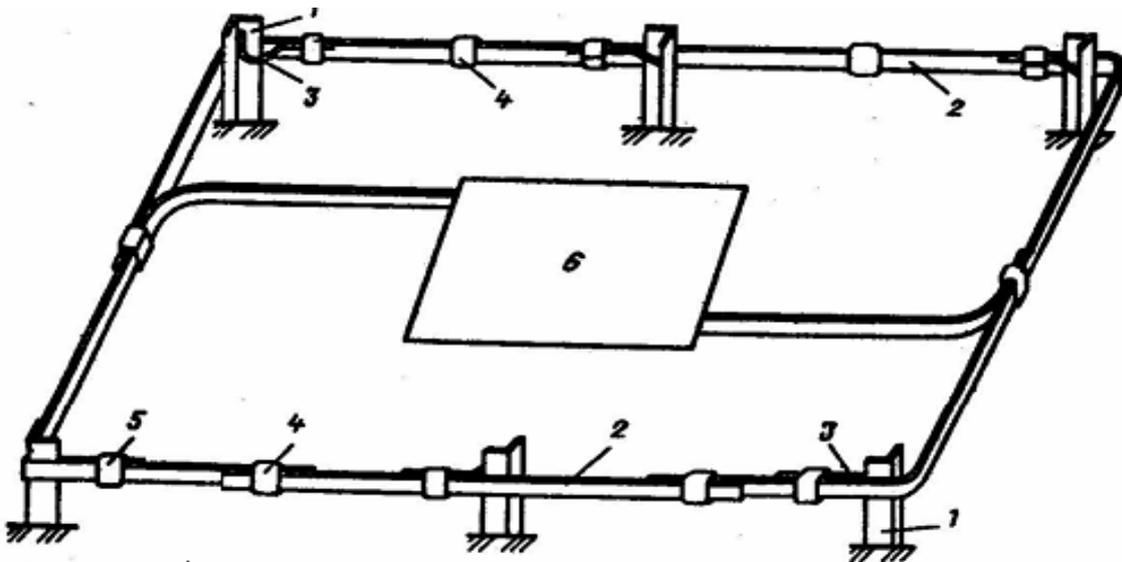


Рисунок 3.2 - Общий вид заземляющего контура, выполненного методом термической сварки: 1 – вертикальный заземлитель, 2 – горизонтальный заземлитель, 3 – связь заземлителя с горизонтальным заземлителем, 4 и 5 – усиление в месте сварки, 6 – заземляемый объект.

Основными параметрами, характеризующими состояние ЗУ, являются:

- сопротивление ЗУ;
- напряжение на ЗУ при стекании с него тока замыкания на землю;
- напряжение прикосновения (для электроустановок выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью, кроме опор ВЛ).

Дополнительными характеристиками ЗУ, с помощью которых производится оценка его состояния в процессе эксплуатации, являются качество и надежность соединения элементов ЗУ, соответствие сечения и проводимости элементов требованиям ПУЭ и проектным данным, интенсивность коррозионного разрушения.

Визуальные осмотры видимой части ЗУ должны производиться по графику, но не реже 1 раза в 6 месяцев ответственным за электрохозяйство Потребителя или работником им уполномоченным. При осмотре оценивается состояние контактных соединений между защитным проводником и оборудованием, наличие антикоррозионного покрытия, отсутствие обрывов. Результаты осмотров должны заноситься в паспорт ЗУ.

Осмотры с выборочным вскрытием грунта в местах наиболее подверженных коррозии, а также вблизи мест заземления нейтралей силовых трансформаторов, присоединений разрядников и ограничителей перенапряжений должны производиться в соответствии с графиком планово-профилактических работ, но не реже одного раза в 12 лет. Величина участка заземляющего устройства, подвергающегося выборочному вскрытию грунта (кроме ВЛ в населенной местности), определяется решением технического руководителя Потребителя.

Выборочное вскрытие грунта осуществляется на всех ЗУ электроустановок Потребителя; для ВЛ в населенной местности вскрытие производится выборочно у 2% опор, имеющих заземляющие устройства. Измерения должны выполняться в период наибольшего высыхания грунта (для районов вечной мерзлоты - в период наибольшего промерзания грунта).

3.2.2 Метод измерения сопротивления заземляющего устройства по РД 153-34.0-20.525-00

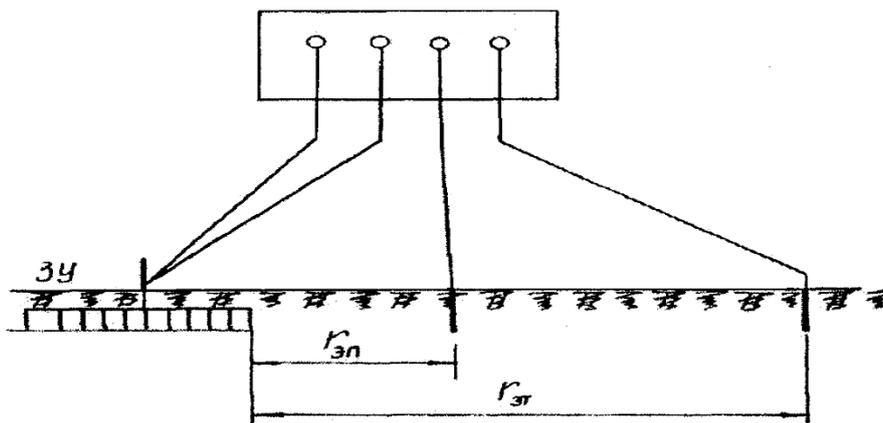


Рисунок 3.3 - Принципиальная схема измерений сопротивления ЗУ

Сопротивление ЗУ измеряется по методу амперметра-вольтметра. Токовый и потенциальный электроды следует располагать на одной линии по территории, свободной от линий электропередачи и подземных коммуникаций. Расстояния до токового и потенциального электродов выбираются в зависимости от размеров ЗУ и характерных особенностей территории вокруг испытываемого объекта.

Если заземлитель имеет небольшие размеры, а вокруг него имеется обширная площадь, свободная от линий электропередачи и подземных коммуникаций, то расстояния до электродов (токовых и потенциальных) выбираются следующим образом:

$$r_{ЭТ} \geq 5Д; \quad (3.1)$$

$$r_{ЭП} = 0,5 r_{ЭТ}. \quad (3.2)$$

где: Д - наибольший линейный размер ЗУ, характерный для данного типа заземлителя (для заземлителя в виде многоугольника - диагональ ЗУ, для глубинного заземлителя - длина глубинного электрода, для лучевого заземлителя - длина луча).

Если заземлитель имеет большие размеры, но вокруг него нет обширной площади, свободной от линий электропередачи и подземных коммуникаций, токовый электрод следует разместить на расстоянии $r_{ЭТ} \geq 3Д$. Потенциальный электрод размещается последовательно на расстоянии $r_{ЭП}$, равном $0,1 r_{ЭТ}$; $0,2 r_{ЭТ}$; $0,3 r_{ЭТ}$; $0,4 r_{ЭТ}$; $0,5 r_{ЭТ}$; $0,6 r_{ЭТ}$; $0,7 r_{ЭТ}$; $0,8 r_{ЭТ}$; $0,9 r_{ЭТ}$, и производится измерение

значений сопротивления. Далее строится кривая зависимости значения сопротивления от расстояния $r_{эп}$. Если кривая монотонно возрастает и имеет в средней части горизонтальный участок (как показано на рис. 3.4), за истинное значение сопротивления принимается значение при $r_{эп} = 0,5 r_{эт}$. Если кривая немонотонная, что является следствием влияния различных коммуникаций (подземных и надземных), измерения повторяются при расположении электродов в другом направлении от ЗУ.

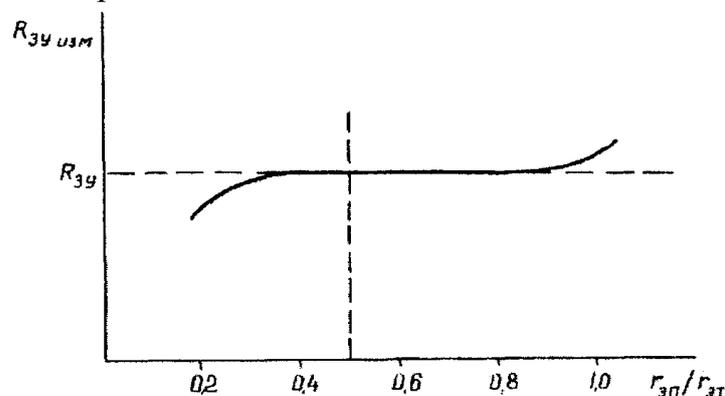


Рисунок 3.4 - Зависимость измеренного сопротивления от расстояния потенциального электрода до токового

3.2.3 Метод измерения сопротивления заземляющего устройства по ГОСТ Р 50571.16-2007

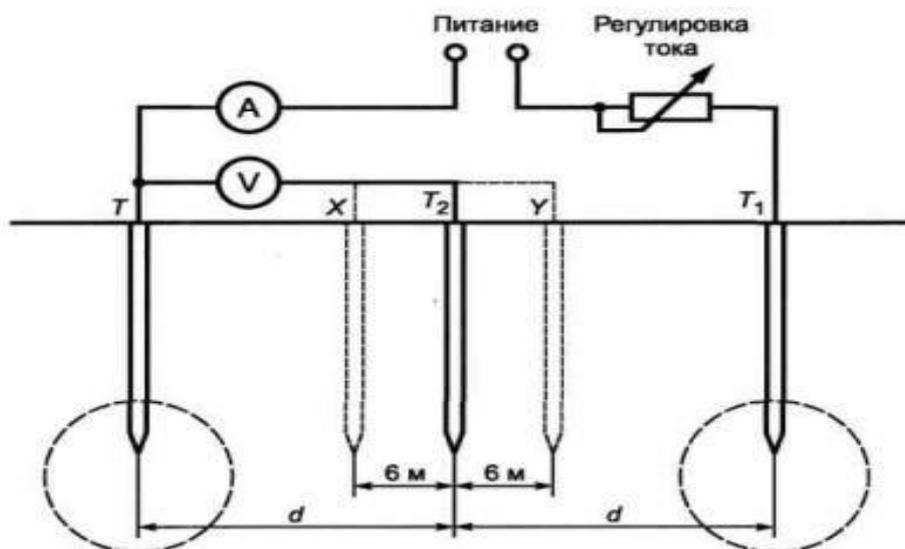


Рисунок 3.5 - Принципиальная схема измерений сопротивления ЗУ: Т-заземлитель, подлежащий испытанию, отключенный от всех источников питания; Т1-вспомогательный заземляющий электрод; Т2-второй вспомогательный заземляющий электрод; X-измененное положение Т2 для проверочного измерения; Y-другое измененное положение Т2 для проверочного измерения.

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

Второй вспомогательный электрод заземления Т2, в качестве которого может использоваться металлический стержень, погруженный в землю, помещают между электродами Т и Т2. Затем измеряют падение напряжения между Т и Т2.

Сопротивление заземлителя равно напряжению между электродами Т и Т2, деленному на ток, протекающий между Т и Т1 при условии, что нет перекрытия зон растекания.

Для того, чтобы проверить правильность определения сопротивления заземлителя, проводят два дополнительных измерения, при которых второй вспомогательный электрод Т2 переносят соответственно на 6м дальше и на 6м ближе к Т. Если три результата существенно не отличаются, то их среднее значение принимают за значение сопротивления заземления Т. Если имеется существенное различие, то измерения повторяют при увеличенном расстоянии между электродами Т и Т1.

3.2.4 Метод измерения сопротивления заземляющего устройства, рекомендованный Sonel

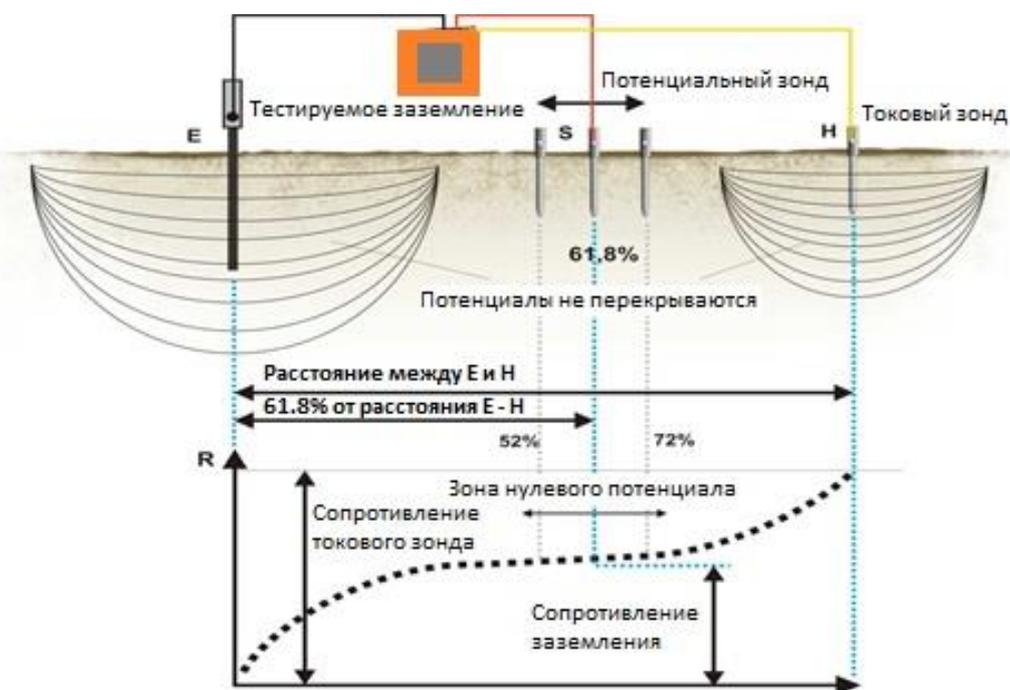


Рисунок 3.6 - Принципиальная схема измерений сопротивления ЗУ

Трехполюсная (3р) схема измерения сопротивления на рис. 3.7 является основной и заключается в установке в грунт двух измерительных электродов (токовый электрод Н и электрод напряжения (потенциальный) S) вблизи заземляющего устройства (Е) по однолучевой схеме. Электрод напряжения (S) помещают на одной линии между проверяемым заземляющим устройством (Е)

и токовым электродом (Н) в области нулевого потенциала. Для точного измерения необходимо чтобы потенциал на вспомогательном электроде напряжения измерялся за пределами зон эффективного сопротивления, как заземляющего устройства, так и вспомогательного электрода тока. Область нулевого потенциала также расширяется с увеличением расстояния между измеряемым заземлением и вспомогательным электродом тока. На практике используется метод 62%, обеспечивающий наибольшую точность при условии однородности грунта. Пользуясь этим методом можно легко найти место установки вспомогательного электрода напряжения (точку нулевого потенциала), при расположении электродов вдоль прямой. Прибор измеряет величину протекающего тока в созданной цепи и напряжение между исследуемым заземлителем и электродом напряжения. Результатом измерения является рассчитанное по закону Ома значение сопротивления заземляющего устройства.

Повторите измерения несколько раз, перемещая на несколько метров вдоль прямой потенциальный зонд: удаляя и приближая его к проверяемому заземлению. Если результаты измерения R_e отличаются друг от друга более чем на 3%, то необходимо значительно увеличить расстояние от токового зонда до тестируемого заземления и повторить измерения.

3.2.5 Метод измерения с токоизмерительными клещами С-3 (не входят в стандартную комплектацию)

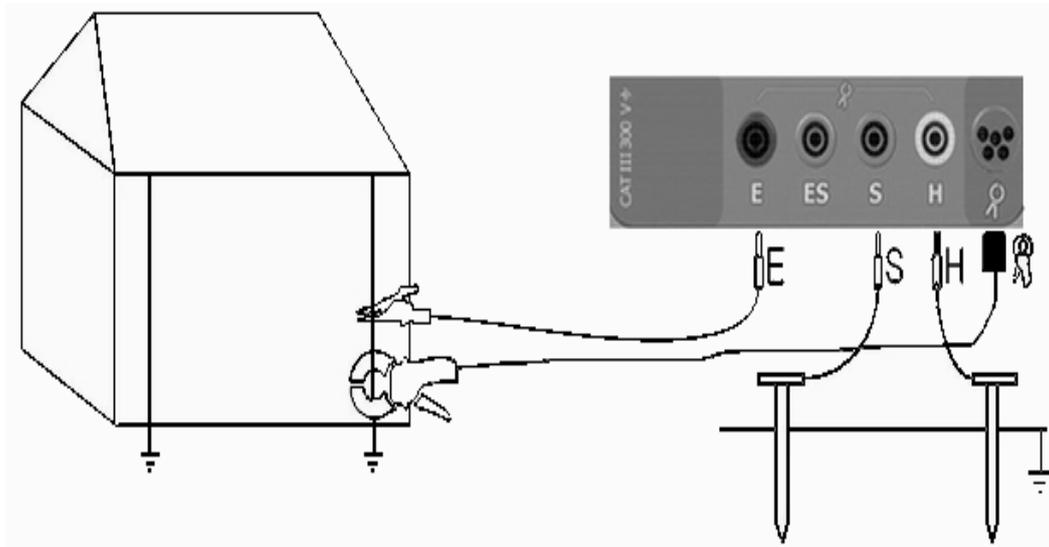


Рисунок 3.7 - Принципиальная схема измерений сопротивления ЗУ

Классический трехполюсный способ на время измерения требует отключения исследуемого заземлителя от общей системы заземления (раскручивания резьбового соединения/демонтаж сварного соединения). Для многоэлементного заземления такой процесс является очень трудоемким, поэтому в приборах Sonel существует возможность проведения измерения без отсоединения исследуемого заземлителя. При этом методе (Z_r +клещи) токовый

электрод (Н) и электрод напряжения (S) помещаются в грунт также как при классическом трехполюсном методе, но ток измеряется при помощи клещей, устанавливаемых на исследуемом заземлителе. Прибор определяет сопротивление заземлителя, на котором установлены токовые клещи (рассчитывает сопротивление по величине тока через исследуемый заземлитель и игнорирует ток, протекающий через смежные заземлители).

3.2.6 Метод измерения с помощью двух клещей С-3 и N-1 (не входят в стандартную комплектацию)

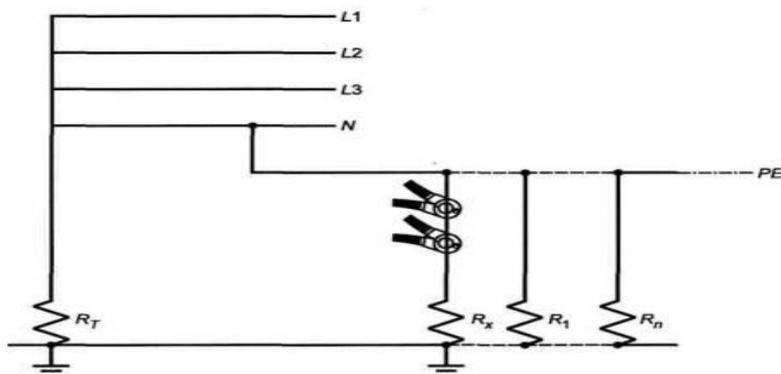


Рисунок 3.8 - Принципиальная схема измерений сопротивления ЗУ: R_t - сопротивление заземления трансформатора; R_x - неизвестная величина сопротивления заземления, которую необходимо измерить; $R_1 \dots R_n$ - параллельные заземления, подключенные при помощи системы выравнивания потенциалов или PEN-проводника

Данный метод измерения предназначен для действующих контуров заземления внутри ячеистой системы заземления. Передающие клещи N-1 индуктируют измеряемое напряжение U на контуре, токоизмерительные клещи С-3 измеряют ток I внутри контура. Сопротивление контура рассчитывают делением напряжения U на ток I .

Таблица 3.1 - Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземлителей опор воздушных линий электропередачи

Характеристика объекта	Удельное сопротивление грунта, ρ , Ом·м	Сопротивление, Ом
Линии на напряжение выше 1000 В		
Опоры, имеющие грозозащитный трос или другие устройства грозозащиты, металлические и железобетонные опоры ВЛ 35 кВ и такие же опоры ВЛ 3-20 кВ в населенной местности, заземлители оборудования на опорах 110 кВ и выше	до 100	10*
	более 100 до 500	15*
	более 500 до 1000	20*
	более 1000 до 5000	30*
	более 5000	$0,006\rho^*$

Продолжение табл. 3.1

Электрооборудование, установленное на опорах ВЛ 3-35 кВ	-	250/Ip**, но не более 10
Металлические и железобетонные опоры ВЛ 3-20 кВ в ненаселенной местности	до 100 более 100	30 0,3ρ
Трубчатые разрядники на подходах линий к подстанциям с вращающимися машинами, вентильные разрядники на кабельных вставках подходов к подстанциям с вращающимися машинами	-	5
Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений на подходах линий к подстанциям с вращающимися машинами	-	3
Опоры с тросом на подходах линий к подстанциям с вращающимися машинами	-	10
Опора ВЛ с устройствами грозозащиты, до 1 кВ.	-	30
Опоры с повторными заземлителями нулевого провода при напряжении источника питания:		
660/380 В		15
380/220 В	-	30
220/127 В		60

* Для опор высотой более 40 м на участках ВЛ, защищенных тросом, сопротивление заземлителей должно быть в 2 раза меньше указанных в таблице.

** Ip - расчетный ток замыкания на землю, в качестве которого принимается ток замыкания на землю;

в сетях с компенсацией емкостного тока замыкания на землю:

- для электроустановок, к которым присоединены компенсирующие аппараты, - ток, равный 125% номинального тока наиболее мощного из этих аппаратов;

- для электроустановок, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, - ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов.

*** При удельном эквивалентном сопротивлении грунта более 100 Ом·м допускается увеличение приведенных значений в 0,01ρ раз, но не более десятикратного.

Таблица 3.2 - Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств электроустановок

Характеристика объекта	Удельное сопротивление грунта, ρ , Ом·м	Сопротивление, Ом
ЭУ напряжением 110 кВ и выше сетей с эффективным заземлением нейтрали, выполненные по нормам на сопротивление	до 500 более 500	0,5 $0,002 \cdot 0,5\rho$
ЭЛУ 3-35 кВ сетей с изолированной нейтралью	до 500 более 500	$250/I_p^*$, но не более 10 Ом $0,002\rho \cdot 250/I_p$
ЭУ сетей напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью напряжением: 660/380 В 380/220 В 220/127 В	до 100 (более 100)	15** ($15 \cdot 0,01\rho$) 30** ($30 \cdot 0,01\rho$) 60** ($60 \cdot 0,01\rho$)
Электроустановки сетей напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью при мощности источника питания: более 100 кВА до 100 кВА	до 500 более 500	$50/I_p^*$, но не более 4 Ом $50/I_p^*$, но не более 10 Ом

* I_p - см. примечание к табл.3.1.

** - сопротивление заземляющего устройства с учетом повторных заземлений нулевого провода должно быть не более 2, 4 и 8 Ом при линейных напряжениях соответственно 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока и напряжениях 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

3.3 Проверка наличия цепи между заземлёнными установками и элементами заземлённой установки

Проверка наличия цепи между заземлёнными установками и элементами заземлённой установки проводится при проведении приемо-сдаточных испытаний электроустановки и в течение ее эксплуатации в сроки, устанавливаемые системой планово-предупредительных ремонтов.

Согласно п.1.8.39 п.2 ПУЭ следует проверить сечения, целостность и прочность проводников, их соединений и присоединений. Не должно быть обрывов и видимых дефектов в заземляющих проводниках, соединяющих аппараты с заземлителем. Надежность сварки проверяется ударом молотка. В соответствии с ГОСТ Р 50571.16-2007 рекомендуется проводить это испытание с использованием источника электропитания, имеющего напряжение холостого

хода от 4 до 24 В постоянного или переменного тока при минимальном токе 0,2 А [10].

Переходное сопротивление контактов должно быть не более 0,05 Ом (п.28.5, прил.3 ПТЭЭП) [9].

3.3.1 Защитные проводники (РЕ-проводники)

В качестве РЕ-проводников в электроустановках напряжением до 1 кВ могут использоваться:

1. *специально предусмотренные проводники:*
 - а) жилы многожильных кабелей;
 - б) изолированные или неизолированные провода в общей оболочке с фазными проводами;
 - в) стационарно проложенные изолированные или неизолированные проводники;
2. *открытые проводящие части электроустановок:*
 - а) алюминиевые оболочки кабелей;
 - б) стальные трубы электропроводок;
 - в) металлические оболочки и опорные конструкции шинпроводов и комплектных устройств заводского изготовления.
 - г) Металлические короба и лотки электропроводок можно использовать в качестве защитных проводников при условии, что конструкцией коробов и лотков предусмотрено такое использование, о чем имеется указание в документации изготовителя, а их расположение исключает возможность механического повреждения;
3. *некоторые сторонние проводящие части:*
 - а) металлические строительные конструкции зданий и сооружений (фермы, колонны и т. п.);
 - б) металлические конструкции производственного назначения (подкрановые рельсы, галереи, площадки, шахты лифтов, подъемников, элеваторов, обрамления каналов и т.п.).

Сторонние проводящие части могут быть использованы в качестве РЕ-проводников, если они, кроме того, одновременно отвечают следующим требованиям:

1. непрерывность электрической цепи обеспечивается либо их конструкцией, либо соответствующими соединениями, защищенными от механических, химических и других повреждений;
2. их демонтаж невозможен, если не предусмотрены меры по сохранению непрерывности цепи и ее проводимости.

Наименьшие площади поперечного сечения защитных проводников должны соответствовать табл. 3.3. Площади сечений приведены для случая, когда защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные

проводники. Сечения защитных проводников из других материалов должны быть эквивалентны по проводимости приведенным.

Таблица 3.3 - Наименьшие сечения защитных проводников

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

Во всех случаях сечение медных защитных проводников, не входящих в состав кабеля или проложенных не в общей оболочке (трубе, коробе, на одном лотке) с фазными проводниками, должно быть не менее:

- 2,5 мм² - при наличии механической защиты;
- 4 мм² - при отсутствии механической защиты.

Сечение отдельно проложенных защитных алюминиевых проводников должно быть не менее 16 мм².

3.3.2 Совмещенные нулевые защитные и нулевые рабочие проводники (PEN-проводники)

В многофазных цепях в системе *TN* для стационарно проложенных кабелей, жилы которых имеют площадь поперечного сечения не менее 10 мм² по меди или 16 мм² по алюминию, функции нулевого защитного (*PE*) и нулевого рабочего (*N*) проводников могут быть совмещены в одном проводнике (*PEN*-проводник).

Когда нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены, начиная с какой-либо точки электроустановки, не допускается объединять их за этой точкой по ходу распределения энергии. В месте разделения *PEN*-проводника на нулевой защитный и нулевой рабочий проводники необходимо предусмотреть отдельные зажимы или шины для проводников, соединенные между собой. *PEN*-проводник питающей линии должен быть подключен к зажиму или шине нулевого защитного *PE*-проводника.

3.3.3 Проводники системы уравнивания потенциалов

Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника электроустановки, если сечение проводника уравнивания потенциалов при этом не превышает 25 мм² по меди или равноценное ему из других материалов. Применение проводников большего сечения, как правило, не требуется. Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов в любом

случае должно быть не менее: медных - 6 мм², алюминиевых - 16 мм², стальных - 50 мм².

Сечение проводников дополнительной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее:

-при соединении двух открытых проводящих частей - сечения меньшего из защитных проводников, подключенных к этим частям;

-при соединении открытой проводящей части и сторонней проводящей части - половины сечения защитного проводника, подключенного к открытой проводящей части.

3.3.4 Главная заземляющая шина

Главная заземляющая шина может быть выполнена внутри вводного устройства электроустановки напряжением до 1 кВ или отдельно от него.

Внутри вводного устройства в качестве главной заземляющей шины следует использовать шину *РЕ*. При отдельной установке главная заземляющая шина должна быть расположена в доступном, удобном для обслуживания месте вблизи вводного устройства. Сечение отдельно установленной главной заземляющей шины должно быть не менее сечения *РЕ(PEN)*-проводника питающей линии. Главная заземляющая шина должна быть, как правило, медной. Допускается применение главной заземляющей шины из стали. Применение алюминиевых шин не допускается.

3.3.5 Система уравнивания потенциалов

Основная система уравнивания потенциалов. Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части:

1. нулевой защитный *РЕ*-или *PEN*-проводник питающей линии в системе *TN*;
2. заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах *IT* и *TT*;
3. заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);
4. металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п. Если трубопровод газоснабжения имеет изолирующую вставку на вводе в здание, к основной системе уравнивания потенциалов присоединяется только та часть трубопровода, которая находится относительно изолирующей вставки со стороны здания;
5. металлические части каркаса здания;

6. металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования. При наличии децентрализованных систем вентиляции и кондиционирования металлические воздуховоды следует присоединять к шине *PE* щитов питания вентиляторов и кондиционеров;
7. заземляющее устройство системы молниезащиты 2-й и 3-й категорий;
8. заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если такое имеется и отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к заземляющему устройству защитного заземления;
9. металлические оболочки телекоммуникационных кабелей.

Проводящие части, входящие в здание извне, должны быть соединены как можно ближе к точке их ввода в здание. Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи проводников системы уравнивания потенциалов.

Дополнительная система уравнивания потенциалов. Система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники в системе TN и защитные заземляющие проводники в системах IT и TT, включая защитные проводники штепсельных розеток.

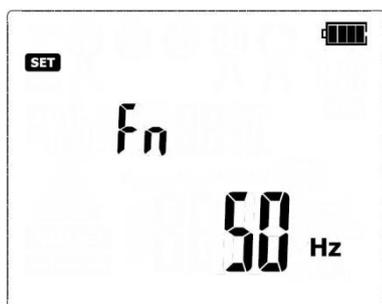
3.4 Подготовка прибора к работе

3.4.1 Настройка измерителя

①



Включите измеритель, удерживая нажатой клавишу **УСТ/ВЫБ**.



Необходимо определить частоту измерительного сигнала для компенсации возможных помех. Только те измерения, которые основаны на правильном выборе частоты измерительного сигнала, могут гарантировать оптимальную фильтрацию помех. Измеритель имеет возможность определять помехи сетей 50 Гц и 60 Гц.

②



Когда на экране отображается символ **Fn** с помощью клавиш **↑** и **↓** установите частоту сети 50 Гц или 60 Гц (по умолчанию 50Гц)

③



Используя клавиши **←** и **→**, перейдите к экрану **bEEP** для настройки звуковых сигналов.



④

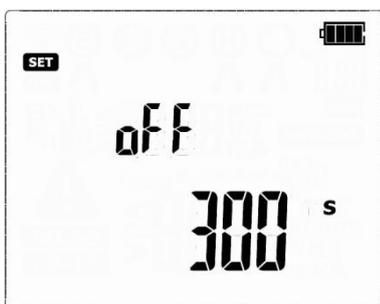


Используя клавиши **↑** и **↓** установите звуковые сигналы во включенное (**on**) или выключенное (**off**) состояние.

⑤



Используя клавиши **←** и **→**, перейдите к экрану **oFF** настройки времени до автоматического отключения прибора (Auto-OFF)



⑥



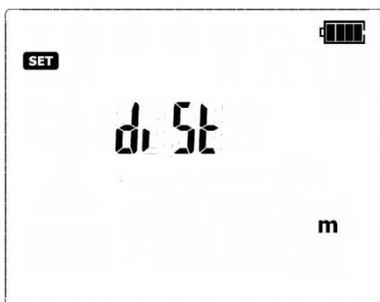
Используя клавиши **↑** и **↓**, установите значение времени до автоматического отключения (Auto-OFF) 300 с, 600 с, 900 с или выключите данную функцию (горизонтальные черточки означают, что функция Auto-OFF выключена). Функция автоматического отключения (Auto-OFF) вызывает отключение неиспользуемого прибора через

установленное время.

7



Используя клавиши ◀ и ▶, перейдите к экрану **diSt** установки единицы измерения длины.



8



Используя клавиши ▲ и ▼, установите единицу измерения длины **m** (метры) или **ft** (футы) (по умолчанию – «m»).

9



Используя клавиши ◀ и ▶, перейдите к экрану **USB UPdt** для обновления программного обеспечения измерителя.



10



Нажмите **ВВОД** для входа в режим обновления программного обеспечения. Подробно процесс обновления программного обеспечения описан в отдельной главе

После изменения параметров, можно выйти из меню настроек:

11



Нажмите **ВВОД** для сохранения настроек (не касается экрана в режиме Обновления).



Или с помощью клавиши **ОТМ** перейдите к экрану измерений без сохранения изменений.

3.4.2 Питание измерителя

Текущий уровень заряда аккумулятора обозначается символом в верхнем правом углу дисплея:

1.



Аккумулятор полностью заряжен.



Аккумулятор разряжен.

Возможно только измерение напряжения.



2. Аккумулятор полностью разряжен, все измерения блокируются.

Измеритель автоматически отключится через 5 секунд.

3. Замена элементов питания

ВНИМАНИЕ!

Измеритель TE-30 работает от фирменного аккумулятора SONEL NiMH 9,6В, который можно заменить только в авторизованной службе сервиса.

4. Зарядка аккумуляторов.

Измеритель выключен: аккумуляторы заряжаются по алгоритму «быстрой зарядки» - процесс зарядки занимает около 4 часов. Окончание процесса зарядки сигнализируется полным заполнением символа аккумулятора, сообщением FULL и звуковым сигналом. Чтобы полностью отключить прибор, необходимо вынуть вилку питания зарядного устройства.

Измеритель включен: аккумуляторы заряжаются по алгоритму «подзарядки» - этот процесс может продолжаться дольше, чем процесс зарядки выключенного прибора. Окончание процесса зарядки сигнализируется полным заполнением символа аккумулятора и звуковым сигналом. Если время подзарядки превысит 10 часов, измеритель автоматически выключается по соображениям безопасности.

Таблица 3.4 - Дополнительная информация, отображаемая измерителем

Сигнализация	Причина	Действия
Отображается Eгг ACU Hi°C	Слишком высокая температура аккумуляторов.	Подождите, пока аккумуляторы охладятся. Начните зарядку снова
Отображается Eгг ACU Lo°C	Слишком низкая температура аккумуляторов	Подождите, пока аккумуляторы нагреются. Начните зарядку снова
Отображается Eгг ACU X (где X - это номер ошибки)	Аварийное состояние.	Начните зарядку снова. Если это не помогает, то возможно повреждение пакета аккумуляторов – свяжитесь с сервисным центром.
Нет символа аккумулятора (при подключенном зарядном устройстве)	Отключенный или неисправный аккумулятор.	Свяжитесь с сервисным центром производителя.

Чтобы полностью отключить прибор, необходимо вынуть вилку питания зарядного устройства и выключить измеритель.

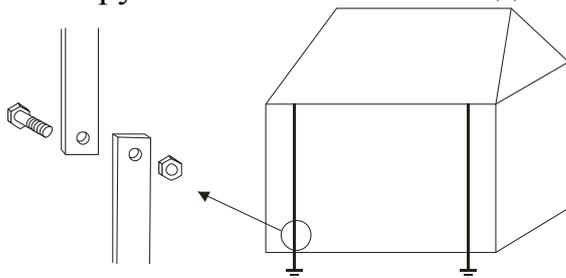
Примечание: Вследствие помех в сети может произойти преждевременное прекращение зарядки аккумулятора. В случае обнаружения слишком короткого времени зарядки, отключите прибор и начните зарядку снова.

3.5 Измерение параметров сопротивления заземляющих устройств

3.5.1 Измерения сопротивления заземления 3-х проводным методом (3р)

Основным видом измерения сопротивления заземления является измерение трёхпроводным методом.

- ① Тестируемое заземление отсоединить от схемы заземления объекта.



- ② Используя клавиши << или >> перейти к режиму 3Р (горит светодиод ). Прибор находится в режиме измерения напряжения помех на измерительных клеммах.



- ③ Нажимая на клавишу УСТ/ВЫБ можно перейти к выбору измерительного напряжения.



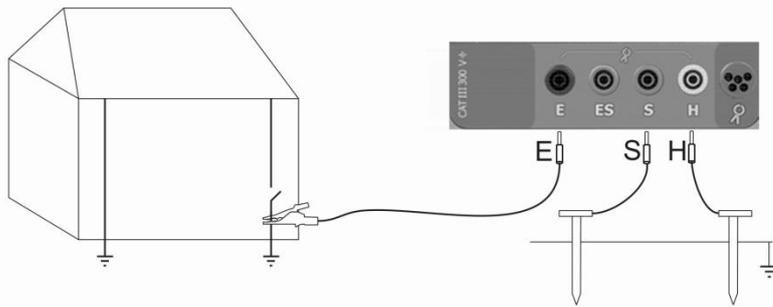
- ④ Используя клавиши  и , установить значение измерительного напряжения 25В или 50В.

- ⑤ или Нажмите ВВОД для подтверждения настройки или с помощью клавиши  выйти из функции без сохранения изменений.



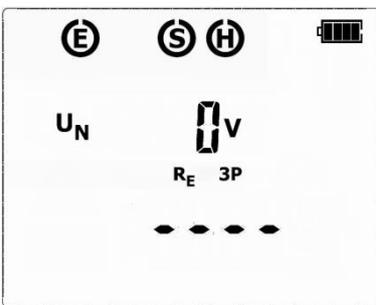
Подключить измерительные провода согласно рисунку:

6



Установите токовый зонд и подключите к разъему Н измерителя.
 Установите потенциальный зонд и подключите к разъему S измерителя.
 Подключите измеряемое 3У к разъему E измерителя.
 Соблюдайте однолинейность устанавливаемых зондов.

7



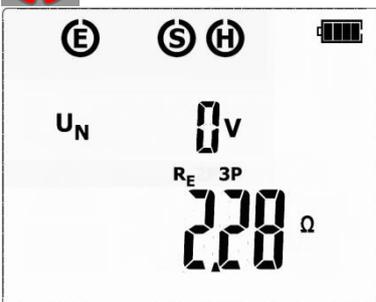
Прибор готов к измерению.

8



Для выполнения измерения нажмите клавишу СТАРТ

9



После завершения измерения считайте с экрана результат. На дисплее будут показаны результаты всех выполненных измерений.

10



Используя клавиши ◀ и ▶ можно просматривать отдельные составляющие результата:

RH – сопротивление токового зонда,

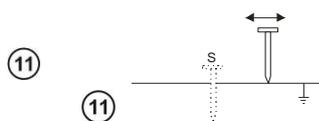
RS – сопротивление потенциального зонда,

ER – дополнительная погрешность, вносимая сопротивлением зондов,

UN – напряжение помехи.

Результат сохраняется на экране в течение 20 с. Его можно вызвать еще раз, если нажать клавишу ВВОД.

Повторите измерения несколько раз (пункты 6,7,8), перемещая на несколько метров вдоль прямой потенциальный зонд: удаляя и приближая его к проверяемому заземлению.



Если результаты измерения RE отличаются друг от друга более чем на 3%, то необходимо значительно увеличить расстояние от токового зонда до тестируемого заземления и повторить измерения.

Измерение сопротивления возможно только в случае, если напряжение помех не превышает 24В. Предел измерения напряжения помех – 100В. Напряжение в диапазоне свыше 50В сигнализируется как опасное. Не подключайте прибор к объектам, напряжение на которых превышает 100В.

Особое внимание должно быть уделено качеству соединения исследуемого заземлителя с измерительными проводниками. Место контакта должно быть очищено от краски, ржавчины, и т. п.

Большая погрешность измерения возникает, если измеряется малая величина заземляющего устройства зондами, которые имеют слабый контакт с грунтом (такая ситуация возникает, если заземлитель является хорошим проводником, в то время как верхний уровень грунта сухой и имеет плохую проводимость).

Контакт измерительных щупов с грунтом может быть улучшен, например, увлажнением водой места, где установлен щуп в грунт или перестановкой щупа в другое место поверхности грунта.

Измерительный провод должен быть также проверен: нет ли повреждений изоляции или не нарушен ли контакт с клеммой щупа, подключен ли зажим к измерительному щупу, не разрушен ли коррозией контакт.

В большинстве случаев точность измерений достаточна. Однако нужно представлять величину ошибки, возникающей в результате измерения. Если сопротивление H и S электродов или одного из них превышает 19,9 кОм, то на экране появится соответствующее сообщение.

Таблица 3.5 - Дополнительная информация, отображаемая прибором

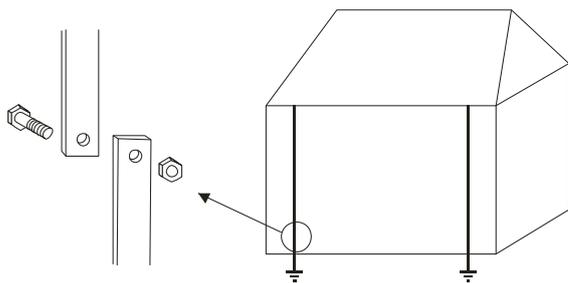
RE>9999 Ом	Превышен измерительный диапазон.
UN >100 В, >100 В и непрерывный звуковой сигнал  , «ШУМ!» и 	Напряжение на измерительных клеммах больше 100В, измерение блокируется.
UN xx В, >40 В и непрерывный звуковой сигнал  , «ШУМ!» и 	Цифры xx – это значение напряжения помехи. При напряжении на измерительных клеммах больше 40В, измерение блокируется.
UN xx В, >24В, «ШУМ!» и 	Цифры xx – это значение напряжения

	помехи. При напряжении на измерительных клеммах больше 24В, но меньше 40В, измерение блокируется.
«ШУМ!»	Сигнал помехи меньше 24В, но имеет слишком большое значение – результат измерения имеет дополнительную погрешность.
LIMIT! и ER вместе со значением в %	Погрешность из-за сопротивления электродов > 30%. (Для расчета дополнительной погрешности берутся измеренные значения).
LIMIT! и RH или RS вместе со значением в Ом	Сопротивление электродов H и S, или одного из них, превышает 19,9 кОм - достоверное измерение невозможно.
Мигающие ободки: E, S, H	Мигающие ободки символов: E, или H, или S, или два, или все три одновременно означают, что к измерительным разъемам не подключен один, два или три провода.

3.5.2 Измерения сопротивления заземления 4-х проводным методом (4p)

Четырехпроводный метод рекомендуется применять при измерении сопротивления заземления очень малых значений. Он позволяет избежать влияния сопротивления измерительных проводов на результат измерения.

- ① Тестируемое заземление отсоединить от схемы заземления объекта.



Используя клавиши << или >> перейти к измерению **4P**

- ②



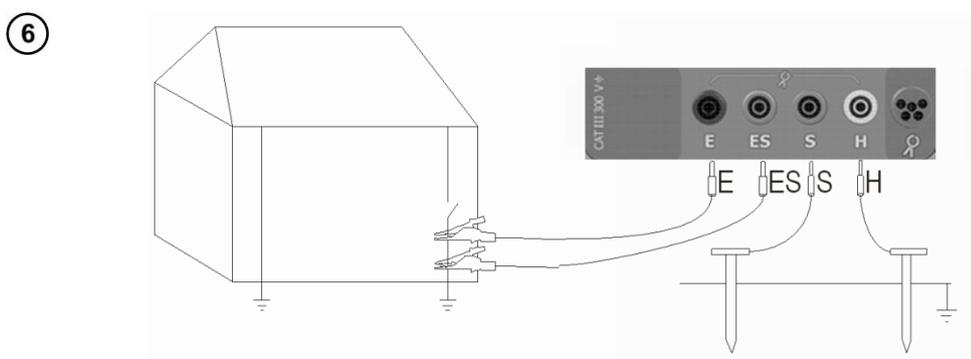
(горит светодиод ). Прибор находится в режиме измерения напряжения помех между измерительными клеммами **E** и **H**.

3  Нажимая на клавишу **УСТ/ВЫБ** можно перейти к выбору измерительного напряжения.

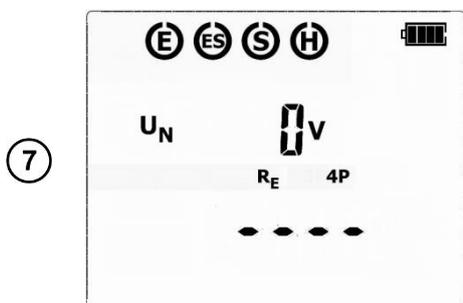
4  Используя клавиши **↑** и **↓**, установить значение измерительного напряжения 25В или 50В.

5  или  Нажмите **ВВОД** для подтверждения настройки или с помощью клавиши **ОТМ** выйти из функции без сохранения изменений.

Подключить измерительные провода согласно рисунку:



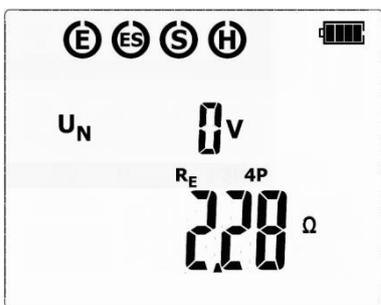
- Вбейте в грунт токовый зонд и подключите его к разъему **Н** измерителя.
- Вбейте в грунт потенциальный зонд и подключите его к разъему **ES** измерителя.
- Подключите тестируемое заземление к разъему **Е** измерителя.
- Подключите провод из разъема **ES** к проверяемому заземлению ниже места подключения провода **Е**.
- Исследуемый заземлитель, а также токовый и потенциальный зонды, должны находиться на одной линии.



Прибор готов к измерению.

8  Для выполнения измерения нажмите клавишу **СТАРТ**.

9



После завершения измерения считайте с экрана результат. На дисплее будут показаны результаты всех выполненных измерений.

Используя клавиши ◀ и ▶ можно просматривать отдельные составляющие результата:

R_H – сопротивление токового зонда,

10



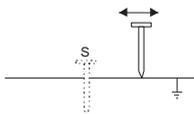
R_S – сопротивление потенциального зонда,

ER – дополнительная погрешность, вносимая сопротивлением зондов,

U_N – напряжение помехи.

Результат сохраняется на экране в течение 20 с. Его можно вызвать еще раз, если нажать клавишу **ВВОД**.

11



Повторите измерения несколько раз (пункты 6,7,8), перемещая на несколько метров вдоль прямой потенциальный зонд: удаляя и приближая его к проверяемому заземлению.

Если результаты измерения R_E отличаются друг от друга более чем на 3%, то необходимо значительно увеличить расстояние от токового зонда до тестируемого заземления и повторить измерения.

Большая погрешность измерения возникает, если измеряется малая величина заземляющего устройства зондами, которые имеют слабый контакт с грунтом (такая ситуация возникает, если заземлитель является хорошим проводником, в то время как верхний уровень грунта сухой и имеет плохую проводимость).

Контакт измерительных щупов с грунтом может быть улучшен, например, увлажнением водой места, где установлен щуп в грунт или перестановкой щупа в другое место поверхности грунта.

Измерительный провод должен быть также проверен: нет ли повреждений изоляции или не нарушен ли контакт с клеммой щупа, подключен ли зажим к измерительному щупу, не разрушен ли коррозией контакт.

В большинстве случаев точность измерений достаточна. Однако нужно представлять величину ошибки, возникающей в результате измерения. Если сопротивление H и S электродов или одного из них превышает 19,9 кОм, то на экране появится соответствующее сообщение.

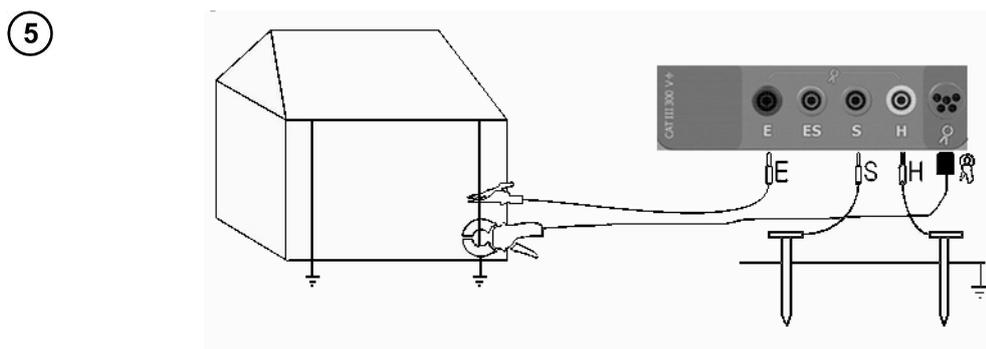
Таблица 36 - Дополнительная информация, отображаемая прибором

$R_E > 9999 \text{ Ом}$	Превышен измерительный диапазон.
$U_N > 100 \text{ В}, > 100 \text{ В}$ и непрерывный звуковой сигнал  , «ШУМ!» и 	Напряжение на измерительных клеммах больше 100В, измерение блокируется.
$U_N \text{ xx В!}, > 40 \text{ В}$ и непрерывный звуковой сигнал  , «ШУМ!» и 	Цифры xx – это значение напряжения помехи. При напряжении на измерительных клеммах больше 40В, измерение блокируется.
$U_N \text{ xx В!}, > 24 \text{ В}, \text{«ШУМ!»}$ и 	Цифры xx – это значение напряжения помехи. При напряжении на измерительных клеммах больше 24В, но меньше 40В, измерение блокируется.
«ШУМ!»	Сигнал помехи меньше 24В, но имеет слишком большое значение – результат измерения имеет дополнительную погрешность.
LIMIT! и ER вместе со значением в %	Погрешность из-за сопротивления электродов > 30%. (Для расчета дополнительной погрешности берутся измеренные значения).
LIMIT! и R_H или R_S вместе со значением в Ом	Сопротивление электродов H и S, или одного из них, превышает 19,9 кОм - достоверное измерение невозможно.
Мигающие ободки:  ,  ,  , 	Мигающие ободки символов: E, или ES, или H, или S, или два, или три, или все одновременно означают, что к измерительным разъемам не подключен один, два, три или четыре провода.

3.5.3 Измерение сопротивления заземления 3-х проводным методом + клещи (Зр+клещи)

- ①  Используя клавиши << или >> перейти к измерению **ЗР+У** (горит светодиод ). Прибор находится в режиме измерения напряжения помех между измерительными клеммами и тока, проходящего через измерительные клещи.
- ②  Нажимая на клавишу **УСТ/ВЫБ** можно перейти к выбору измерительного напряжения.
- ③  Используя клавиши **↑** и **↓**, установить значение измерительного напряжения 25В или 50В.
- ④  или  Нажмите **ВВОД** для подтверждения настройки или с помощью клавиши **ОТМ** выйти из функции без сохранения изменений.

Подключить измерительные провода согласно рисунку:



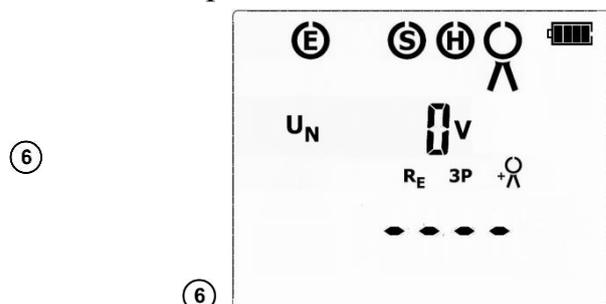
Вбейте в грунт токовый зонд и подключите его к разъему **Н** измерителя.

Вбейте в грунт потенциальный зонд и подключите его к разъему **S** измерителя.

Подключите тестируемое заземление к разъему **E** измерителя.

Исследуемый заземлитель, а также токовый и потенциальный зонды, должны находиться на одной линии.

Замкните **измерительные клещи** на тестируемом заземлении ниже места подключения провода **E**.



Прибор готов к измерению.

С помощью клавиш ◀ и ▶ можно переключаться между измерениями:

7



U_N – напряжение помехи,

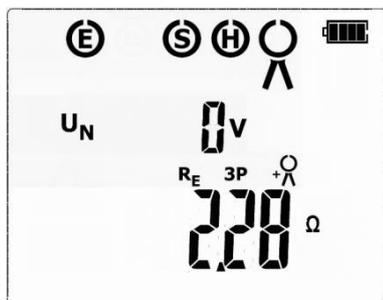
I_L – ток утечки, измеряемый клещами.

8



Для выполнения измерения нажмите клавишу **СТАРТ**.

9



После завершения измерения считайте с экрана результат. На дисплее будут показаны результаты всех выполненных измерений.

Используя клавиши ◀ и ▶ можно просматривать отдельные составляющие результата:

R_H – сопротивление токового зонда,

R_S – сопротивление потенциального зонда,

ER – дополнительная погрешность, вносимая сопротивлением зондов,

U_N – напряжение помехи,

I_L – ток утечки.

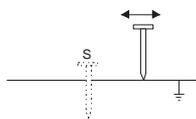
10



Результат сохраняется на экране в течение 20 с. Его можно вызвать еще раз, если нажать клавишу **ВВОД**.

Повторите измерения несколько раз (пункты 6,7,8), перемещая на несколько метров вдоль прямой потенциальный зонд: удаляя и приближая его к проверяемому заземлению.

11



Если результаты измерения R_E отличаются друг от друга более чем на 3%, то необходимо значительно увеличить расстояние от токового зонда до тестируемого заземления и повторить измерения.

Клещи необходимо откалибровать перед их первым применением. Рекомендуется проводить периодическую калибровку, чтобы избежать влияния старения элементов на точность измерения. Следует обратить особое внимание на качество соединения исследуемого объекта с измерительным проводом - место контакта должно быть очищено от краски, ржавчины и т. д.

Если сопротивление измерительных электродов (зондов) слишком большое, то измеренное сопротивление R_E получит дополнительную погрешность. Особенно большая погрешность возникает во время измерения малой величины сопротивления заземления, при слабом контакте зондов с грунтом (такая ситуация часто имеет место, когда конструкция заземлителя выполнена хорошо, а верхняя часть почвы сухая и слабо проводит ток). Тогда отношение сопротивления зондов к измеренному сопротивлению заземления будет очень большое, как и погрешность измерения, зависящая от него. Можно тогда, в соответствии с формулами сделать расчеты, которые позволят оценить влияние условий измерений.

Таблица 3.7 - Дополнительная информация, отображаемая прибором

$R_E > 9999 \text{ Ом}$	Превышен измерительный диапазон.
$U_N > 100 \text{ В}$, $> 100 \text{ В}$ и непрерывный звуковой сигнал  , «ШУМ!» и 	Напряжение на измерительных клеммах больше 100В, измерение блокируется.
$U_N \text{ xx В!}$, $> 40 \text{ В}$ и непрерывный звуковой сигнал  , «ШУМ!» и 	Цифры xx – это значение напряжения помехи. При напряжении на измерительных клеммах больше 40В, измерение блокируется.
$U_N \text{ xx В!}$, $> 24 \text{ В}$, «ШУМ!» и 	Цифры xx – это значение напряжения помехи. При напряжении на измерительных клеммах больше 24В, но меньше 40В, измерение блокируется.
«ШУМ!»	Сигнал помехи меньше 24В, но имеет слишком большое значение – результат измерения имеет дополнительную погрешность.
LIMIT! и ER вместе со значением в %	Погрешность из-за сопротивления электродов $> 30\%$. (Для расчета дополнительной погрешности берутся измеренные значения).
LIMIT! и R_N или R_S вместе со значением в Ом	Сопротивление электродов N и S, или одного из них, превышает 19,9 кОм - достоверное измерение невозможно.
Мигающие ободки: 	Мигающие ободки символов: E, или N, или S, или два, или все три одновременно означают, что к измерительным разъемам не подключен один, два или три провода.
Мигающий символ клещей 	Измерительные клещи не подключены или измеренный клещами ток слишком мал.
$I_L \text{ xx А}$, $I > 1 \text{ А}$, 	Ток помехи более 1А, измерение невозможно.

Можно также улучшить контакт электрода с почвой, например, увлажняя водой место установки зонда, вбить его заново в другом месте или использовать удлиненный 80 см зонд. Также проверьте целостность изоляции измерительных проводов и убедитесь, что нет коррозии и плохого контакта в местах соединений: провод - разъем типа «банан» - зонд. В большинстве случаев достаточно достигнутой точности измерения, однако необходимо всегда знать величину дополнительной погрешности.

3.5.4 Измерение сопротивления методом двух клещей

Метод измерения сопротивления двумя клещами имеет практическое применение в тех случаях, когда подключение зондов для забивки в грунт невозможно.

ПРИМЕЧАНИЕ

Метод двух клещей применим только в случае сложной заземляющей системы!

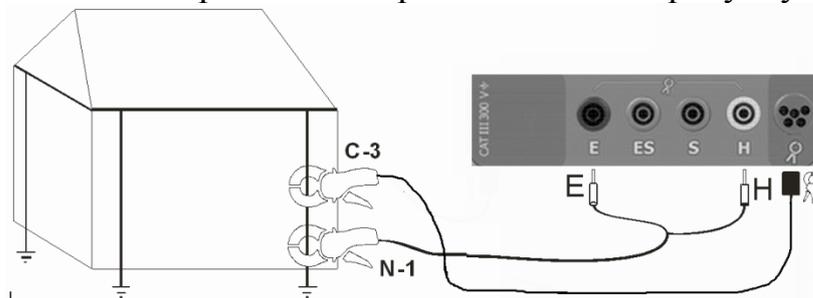
Используя клавиши << или >> перейти к измерению Ω (горит светодиод ). Прибор находится в режиме измерения напряжения помех между измерительными клеммами E и H, а также тока, проходящего через измерительные клещи.

①



Подключить измерительные провода согласно рисунку:

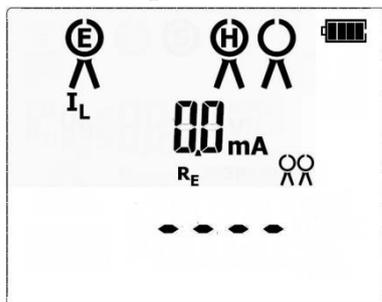
②



Передающие клещи подключить к разъемам E и H, а токоизмерительные клещи подключить в разъем для клещей Ω .

Замкнуть губки передающих и приемных клещей на измеряемом заземлении на расстоянии не менее 30 см друг от друга.

③



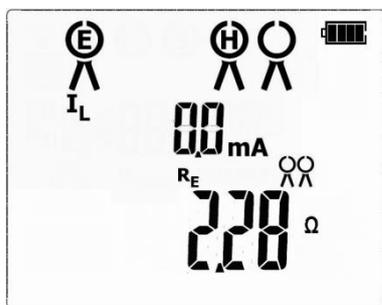
Прибор готов к измерению.

④



Для выполнения измерения нажмите клавишу **СТАРТ**.

5



После завершения измерения считайте с экрана результат и значение тока утечки.

Результат сохраняется на экране в течение 20 с. Его можно вызвать еще раз, если нажать клавишу **ВВОД**.

Таблица 3.8 - Дополнительная информация, отображаемая прибором

$R_E > 99,9 \text{ Ом}$	Превышен измерительный диапазон.
Мигающие символы клещей  	Передающие клещи не подключены.
Мигающий символ клещей 	Измерительные клещи не подключены или измеренный клещами ток слишком мал.
$I_L \text{ xxA}, I > 1\text{A}, \triangle!$	Ток помехи более 1А, измерение невозможно.

3.6 Проверка наличия цепи между заземленными установками и элементами заземленной установки

При измерении малых сопротивлений, существенное влияние на результат может оказывать сопротивление измерительных проводников. Необходимо выполнить калибровку.

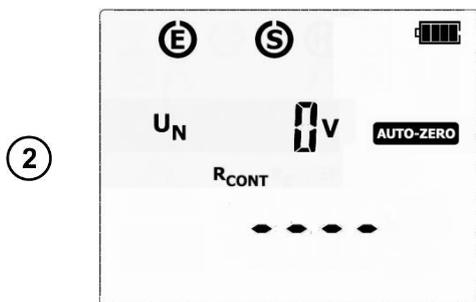
3.6.1 Компенсация сопротивления измерительных проводников (калибровка)

Для устранения влияния сопротивления проводов на результат измерения R_{CONT} можно провести их калибровку (автообнуление). Функция доступна в режиме измерения R_{CONT} .

1

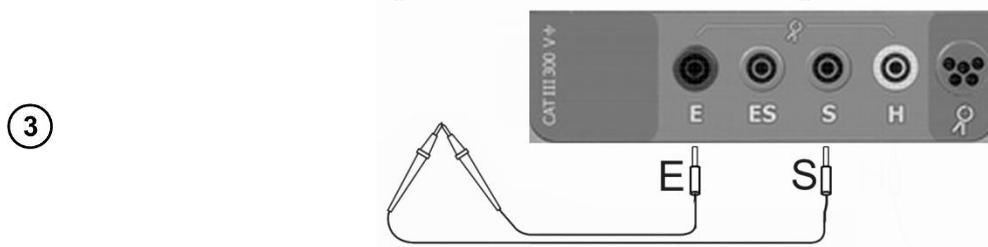


В режиме R_{CONT} (горит светодиод ) используя клавишу **УСТ/ВЫБ** перейти к экрану автоматического обнуления сопротивления измерительных проводов.

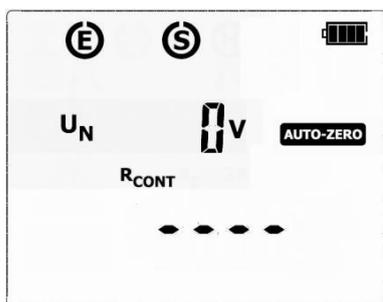


Появляется мигающая надпись AUTO-ZERO, свидетельствующая о готовности выполнения калибровки измерительных проводов.

Подключить измерительные провода согласно рисунку. Замкните между собой провода, подключенные к разъемам E и S.



4 Нажмите клавишу СТАРТ.



Постоянное отображение надписи AUTO-ZERO (не мигает), свидетельствует о выполненной калибровке измерительных проводов. В результате получено компенсированное значение с поправкой для измерения R_{CONT} . Компенсация также сохраняется после отключения и при включении измерителя (если отображается надпись AUTO-ZERO).

Для отмены компенсации (возврату к заводской калибровке) необходимо выполнить вышеуказанные действия при разомкнутых измерительных проводах, после чего на месте результата появится надпись OFF (компенсация проводов отключена). После завершения отмены автообнуления надпись AUTO-ZERO перестает отображаться.

7  или  Через 20 с прибор автоматически вернется к экрану готовности к измерениям, Пользователь может сделать это раньше, нажимая клавишу ОТМ или ВВОД.

3.6.2 Измерение сопротивления проводников присоединения к земле и выравнивания потенциалов

Измерения производится согласно требованиям ГОСТ Р МЭК 61557-4 ($U < 24V$, $I > 200mA$ для $R \leq 10\Omega$).

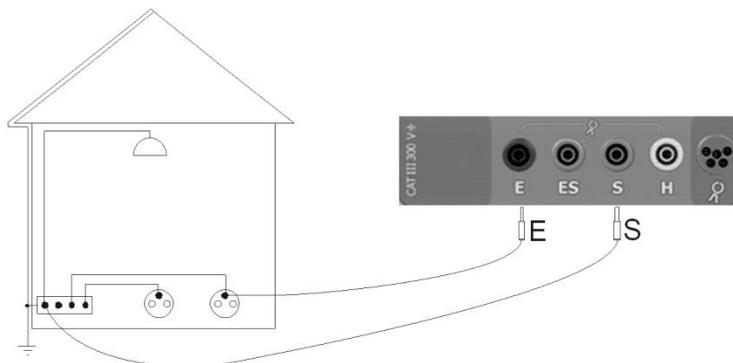
1



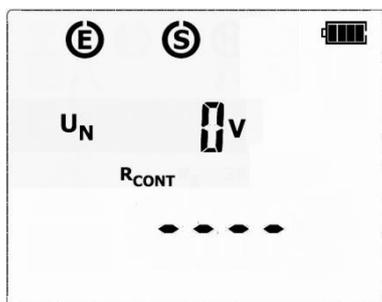
Используя клавиши << или >> перейти к измерению R_{CONT} 200mA (горит светодиод ). Прибор находится в режиме измерения напряжения помех между измерительными клеммами E и H.

Подключить измерительные провода согласно рисунку:

2



3



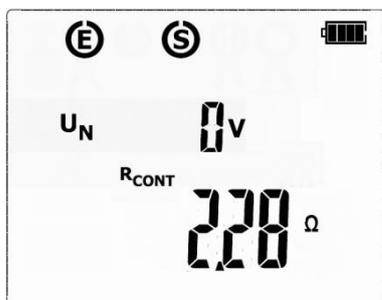
Прибор готов к измерению.

4



Для выполнения измерения нажмите клавишу СТАРТ.

5



После завершения измерения считайте с экрана результат и значение напряжения помехи.

Результат сохраняется на экране в течение 20 с. Его можно вызвать еще раз, если нажать клавишу ВВОД.

Таблица 3.9 - Дополнительная информация, отображаемая прибором

$R > 1999 \text{ Ом}$	Превышен измерительный диапазон.
$U_N > 100 \text{ В}; > 100 \text{ В}$ и непрерывный звуковой сигнал 🔊, «ШУМ!» и ⚠️	Напряжение на измерительных клеммах больше 100В, измерение блокируется.

U_N xx В; >40В и непрерывный звуковой сигнал  , «ШУМ!» и 	Цифры xx – это значение напряжения помехи. При напряжении на измерительных клеммах больше 40В, измерение блокируется.
U_N xx В; >3 В, «ШУМ!» и 	Цифры xx – это значение напряжения помехи. При напряжении на измерительных клеммах больше 3В, но меньше 40В, измерение блокируется.
«ШУМ!»	Сигнал помехи меньше 3 В, но имеет слишком большое значение – результат измерения имеет дополнительную погрешность.

3.7 Требования при проведении измерений

Работники ЭЛ (как работники организаций, направляемые для выполнения работ в действующих, строящихся, технически перевооружаемых, реконструируемых электроустановках и не состоящие в штате организаций – владельцев электроустановки) относятся к командированному персоналу [7].

Командируемые работники должны иметь удостоверения установленной формы о проверке знаний норм и правил работы в электроустановках с отметкой о группе, присвоенной комиссией командировающей организации. Командирующая организация несет ответственность за соответствие присвоенных командированным работникам групп, а также за соблюдением персоналом нормативных документов по безопасному выполнению работ.

Организация работ командировочного персонала предусматривает прохождение следующих процедур выполняемых до начала работ:

- извещение организации-владельца электроустановки письмом о цели командировки, а также составе и квалификации командировочного персонала ЭЛ;

- определение и предоставление организацией-владельцем командированным работникам права работы в действующих электроустановках (в качестве выдающих наряд, ответственных руководителей и производителей работ, членов бригады);

- проведение с командированным персоналом по его прибытии вводного и первичного инструктажей по электробезопасности;

- ознакомление командированного персонала с электрической схемой и особенностями электроустановки, в которой ему предстоит работать (причем работник которому предоставляется право исполнять обязанности производителя работ должен пройти инструктаж по схеме электроснабжения электроустановки);

- проведение работниками организации-владельца подготовки рабочего

места и допуск командированного персонала к работам.

Организация, в электроустановках которой производятся работы командированным персоналом, несет ответственность за выполнение предусмотренных мер безопасности и допуск к работам.

Работы выполняются на основании наряда-допуска, распоряжения или в порядке текущей эксплуатации [7].

Кроме того, при проведении испытаний и измерений следует :

Руководствоваться указаниями паспортов (инструкций по эксплуатации) используемых приборов и инструкций по технике безопасности (действующими на предприятии, где выполняются измерения), а также дополнительными требованиями по безопасности, определенными в нарядах-допусках, распоряжениях, инструктажах.

Проверять отсутствие напряжения (проверять отсутствие напряжения необходимо испытанным указателем напряжения, исправность которого должна быть проверена на заведомо находящихся под напряжением частях электроустановки [7]. Отсутствие напряжения следует проверять как между всеми фазами, так и между фазой и землей. Причем, в электроустановках с системой TN-C следует сделать не менее шести замеров, а в электроустановках с системой TN-S –десяти замеров.

Производить подключение и отключение всех измерительных приборов при снятом напряжении. Обеспечивать применение защитных средств и инструмента с изолирующими рукоятками, испытанных согласно «Инструкции по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках», утвержденной приказом Минэнерго России от 30.06.2003 г. за № 261.

Производящая работы бригада должна состоять не менее чем из двух человек, в том числе производитель работ с группой по электробезопасности не ниже IV и член бригады с группой по электробезопасности не ниже III группы.

Руководитель группы, начальник ЭЛ (он же выдающий задание), должен иметь группу по электробезопасности V в электроустановках напряжением выше 1000 В и IV- в электроустановках напряжением до 1000 В. При проведении измерений запрещается приближаться к токоведущим частям на расстояния менее указанных в таблице 3.10.

Абсолютная погрешность при проводимых измерениях определяется:

$$\pm (\text{и.в.} \cdot \delta_{\text{и}} / 100 + X_1 \text{ епр}), \quad (3.1)$$

где: и.в. – измеряемая величина (показания прибора);

$\delta_{\text{и}}$ – относительная погрешность измерения %;

X_1 – число единиц младшего разряда. Зависит от серии прибора и диапазона отображения (см. технические характеристики).

Таблица 3.10 - Допустимые расстояния до токоведущих частей, находящихся под напряжением. (* - постоянный ток)

Напряжение, кВ		Расстояние от людей и применяемых ими инструментов и приспособлений, от временных ограждений, м	Расстояние от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении, от стропов, грузозахватных приспособлений грузов, м
До 1	На ВЛ	0,6	1,0
	В остальных электроустановках	Не нормируется (без прикосновения)	1,0
1-35		0,6	1,0
60*,110		1,0	1,5
150		1,5	2,0
220		2,0	2,5
330		2,5	3,5
400*,500		3,5	4,5
750		5,0	6,0
1150		8,0	10,0

Дополнительная погрешность. Данные о дополнительных погрешностях необходимы при использовании прибора в нестандартных условиях, а также для измерительных лабораторий при поверке.

Таблица 3.11 - Влияние величины напряжения помехи на измерение сопротивления заземления для функций: 3р, 4р, 3р + клещи и р

R_E	U_N	Дополнительная погрешность [Ом]
0,00...10,00 Ом	25В	$(0,001R_E+0,01)U_z+0,007U_z^2$
	50В	$(0,001R_E+0,01)U_z+0,004U_z^2$
10,01..2000 Ом	25В, 50В	$(0,001R_E+0,01)U_z+0,001U_z^2$
2001..9999 Ом	25В, 50В	$(0,003R_E + 0,4)U_z$

Таблица 3.12 - Влияние сопротивления вспомогательных электродов на измерение сопротивления заземления для 3р, 4р, 3р + клещи и р

R_H, R_S	Дополнительная погрешность [%]
$R_H \leq 5$ кОм и $R_S \leq 5$ кОм	$\pm \left(\frac{R_S}{R_S + 100000} \cdot 150 + \frac{R_H \cdot 0,004}{R_E} + 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot R_H^2 \right)$
$R_H > 5$ кОм или $R_S > 5$ кОм или R_H и $R_S > 5$ кОм	$\pm \left(7,5 + \frac{R_H \cdot 0,004}{R_E} + 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot R_H^2 \right)$

R_E [Ом], R_S [Ом] и R_H [Ом] являются значениями, отображаемыми на измерительном приборе. Влияние тока помехи на результат измерения сопротивления заземления методом 3р+клещи.

Таблица 3.13 - Измерения при величине тока помехи, не превышающем значения 3А (rms) и частоты, соответствующей установленной в МЕНЮ.

R_E	Дополнительная погрешность [Ом]
0,00..50,00 Ом	$\pm (0,03R_E \cdot I_Z^2)$
50,01..2000 Ом	$\pm (0,0009 \cdot R_E \sqrt{R_E} \cdot I_Z^2)$
2001..9999 Ом	$\pm (9 \cdot 10^{-7} \cdot R_E^2 \cdot I_Z(I_Z + 15))$

Для значений тока >3А происходит блокировка измерений.

Влияние тока помехи на результат измерения сопротивления заземления с использованием двух клещей

Таблица 3.14 - Измерения при величине тока помехи, не превышающем значения 3А (rms) и частоты, соответствующей установленной в МЕНЮ.

R_E	Дополнительная погрешность [Ом]
0,00...10,00 Ом	$0,03R_E^2 I_Z$
10,01...99,99 Ом	$0,0004R_E^2 I_Z(I_Z+10)$

Для значений тока >3А происходит блокировка измерений.

Таблица 3.15 - Влияние соотношения части многоэлементного заземления, измеренного клещами, к общему сопротивлению (3р + клещи)

R_C	Дополнительная погрешность [Ом]
≤ 50 Ом	$\pm (0,003 \frac{R_C}{R_W^2})$
> 50 Ом	$\pm (0,5 \frac{R_C}{\sqrt{R_W}})$

R_C [Ом] – это значение сопротивления части заземления, измеренного клещами и отображаемой прибором, а R_W [Ом] результирующая величина многоэлементного заземления.

Таблица 3.16 - Дополнительная погрешность по ГОСТ Р МЭК 61557-5 (3р, 4р)

Влияющая величина	Обозначение	Дополнительная погрешность
Положение	E_1	0%
Напряжение питания	E_2	0% (не горит)
Температура	E_3	$\pm 0,2$ е.м.р./°С для $R < 1$ кОм $\pm 0,07\%/^{\circ}\text{C} \pm 0,2$ е.м.р./°С для $R \geq 1$ кОм
Последовательное напряжение помех	E_4	По формуле из п.12.2.1 ($U_N=3\text{В } 50/60\text{Гц}$)
Сопротивление зондов и вспомогательных электродов	E_5	По формуле из п.12.2.2

Перед проведением измерений необходимо по возможности уменьшить количество факторов, вызывающих дополнительную погрешность.

Контроль точности результатов измерений обеспечивается ежегодной поверкой приборов в органах Госстандарта РФ. Приборы должны иметь действующие свидетельства о госповерке. Сроки действия свидетельства о поверке прибора должны быть приведены в протоколе. Выполнение измерений прибором с просроченным сроком поверки не допускается. Протокол испытаний должен содержать достоверные, объективные и точные результаты испытаний, данные об условиях испытаний и погрешности измерений, заключение о соответствии испытываемой электроустановки здания требованиям нормативных документов и проектной документации и показывать точно, четко и недвусмысленно результаты испытаний и другую относящуюся к ним информацию.

Протокол испытаний должен содержать следующие основные сведения:

- наименование и адрес испытательной лаборатории;
- регистрационный номер, дату выдачи и срок действия аттестата аккредитации, наименование аккредитующей организации, выдавшей аттестат (при наличии) или свидетельство о регистрации в органах государственного энергетического надзора;
- номер и дату регистрации протокола испытаний, нумерацию каждой страницы протокола, а также общее количество страниц;
- полное наименование электроустановки и ее элементный состав;
- код ОКП;
- наименование организации или фамилию, имя, отчество заказчика и его адрес;
- дату получения заявки на испытания;
- наименование и адрес монтажной организации;
- сведения о проектной документации, в соответствии с которой смонтирована электроустановка;
- сведения об актах скрытых работ (организация, номер, дата);
- дату проведения испытаний;
- место проведения испытаний;
- климатические условия проведения испытаний (температура, влажность, давление);
- цель испытаний (приемо-сдаточные, для целей сертификации, сличительные, контрольные);
- программу испытаний (объем испытаний в виде перечисления пунктов (разделов) нормативного документа на требования к электроустановке и ее элементному составу).

Примечание. Программа испытаний может быть приведена в приложении к протоколу испытаний:

- нормативный документ, на соответствие требованиям которого проведены испытания (стандарт, правила, нормы и т. п.);
- перечень применяемого испытательного оборудования и средств

измерений с указанием наименования и типа испытательного оборудования и средств измерений, диапазона и точности измерений, данных о номере метрологического аттестата или свидетельства и дате последней и очередной аттестации и поверки;

- значения показателей по нормативным документам и допусков при необходимости;

- фактические значения показателей испытанных электроустановок с указанием погрешности измерений при необходимости;

- вывод о соответствии нормативному документу по каждому показателю;

- информацию о дополнительном протоколе испытаний, выполненных на условиях субподряда (при его наличии);

- заключение о соответствии (или несоответствии) испытанной электроустановки, ее элементов требованиям стандартов или других нормативных документов;

- подписи и должности лиц, ответственных за проведение испытаний и оформление протокола испытаний, включая руководителя испытательной лаборатории;

- печать испытательной лаборатории (или организации);

- указание о недопустимости частичной или полной перепечатки или размножения без разрешения заказчика (или испытательной лаборатории) (на титульном листе).

На титульном листе указывают, что протокол испытаний распространяется только на электроустановку.

Исправления и дополнения в тексте протокола испытаний после его выпуска не допускаются. При необходимости их оформляют только в виде отдельного документа «Дополнение к протоколу испытаний» (номер, дата) в соответствии с приведенными выше требованиями к протоколу.

Измерения проведены приборами:

№ п/п	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики		Дата поверки		№ аттестата (свидетельства)	Орган государственной метрологической службы, проводивший поверку
			Диапазон измерения	Класс точности	последняя	очередная		
1								
2								
3								

Заключение: _____

Испытания провели:

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О.)

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О.)

Протокол проверил:

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О.)

Протокол проверки наличия цепи между заземленными установками и элементами заземленной установки

Испытательная лаборатория электроустановок
Зданий (ИЛЭЗ)
Свидетельство о регистрации
Действительно до « » г.

Заказчик: « »
Объект:
Адрес: г. Москва,
Дата проведения измерений: « » _____ 20__ г.

ПРОТОКОЛ № _____ проверки наличия цепи между заземлёнными установками и элементами заземлённой установки

Климатические условия при проведении измерений

Температура воздуха _____ °С. Влажность воздуха _____ %. Атмосферное давление _____ кПа

Цель измерений (испытаний)

(приёмо-сдаточные, сличительные, контрольные испытания, эксплуатационные, для целей сертификации)

Нормативные и технические документы, на соответствие требованиям которых проведены проверки (испытания):

1. Результаты измерений:

№ п/п	Месторасположение и наименование электрооборудования	Количество проверенных элементов	R перех. измеренное, (Ом)
1	2	3	4
1			
2			
3			

2. Измерения проведены приборами:

№ п/п	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики		Дата поверки		№ аттестата (свидетельства)	Орган государственной метрологической службы, проводивший поверку
			Диапазон измерения	Класс точности	последняя	очередная		
1								
2								
3								
4								

Примечание: Допустимое значение переходного сопротивления контакта по нормативному документу $\leq 0,05$ Ом (ПУЭ п.1.8.39; ГОСТ Р50571.3-2009; ГОСТ Р50571.16-2007; ПТЭЭП прил. 3)

Заключение: _____

Испытания провели:

_____	_____	_____
(должность)	(подпись)	(Ф.И.О.)
_____	_____	_____
(должность)	(подпись)	(Ф.И.О.)

Протокол проверил:

_____	_____	_____
(должность)	(подпись)	(Ф.И.О.)

4 ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НА ДЕМОНСТРАЦИОННОМ СТЕНДЕ ТМ 2501

4.1 Общая характеристика демонстрационного стенда ТМ 2501- измерителя параметров сопротивления электроизоляции

ТМ-2501 — цифровой мегаомметр, предназначенный для измерения сопротивления изоляции кабельных линий, проводов, обмоток трансформаторов, двигателей, других электро- и телекоммуникационных установок. Максимальное измерительное напряжение составляет 2500 В постоянного тока, а диапазон измеряемого сопротивления ограничен величиной в 1000 ГОм. Установка трех интервалов времени позволяет автоматически рассчитывать коэффициенты абсорбции (увлажненности) и поляризации (старения). В процессе измерения сопротивления изоляции прибор отображает величину тока утечки.

Прибор позволяет измерять сопротивление соединений заземлителей с заземляемыми элементами и сопротивление проводников уравнивания потенциалов током не менее 200 мА с разрешением 0,01 Ом. Все результаты измерений можно сохранить в памяти прибора с последующей передачей данных на компьютер.

ТМ-2501 произведен в России и адаптирован под суровые климатические условия: рабочий диапазон температур от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Питание прибора осуществляется от встроенного аккумулятора, сети 220В или автомобильной сети 12 В с помощью дополнительного адаптера.



Рисунок 4.1 - Внешний вид демонстрационного стенда ТМ 2501

Основные виды испытаний и измерений, необходимые при сдаче электроустановки в эксплуатацию и обслуживание действующих электроустановок:

- измерение сопротивления изоляции электропроводок и кабельных линий;

- измерение сопротивления заземляющих устройств;

проверка наличия цепи между заземленными установками и элементами заземленной установки;

- проверка цепи «фаза-нуль» в электроустановках до 1000 В с системой TN;

- проверка работы устройств защитного отключения (УЗО);

- проверка действия расцепителей автоматических выключателей.

Функциональные возможности стенда:

- измерительное напряжение до 2500 В: установка произвольной величины 100...2500 В с шагом 100 В;

- измерение сопротивления изоляции до 1000 ГОм (1 ТОм);

- вычисление коэффициентов абсорбции и поляризации: установка трех интервалов времени;

- индикация измеряемого сопротивления и тока утечки;

- автоматическая разрядка ёмкости измеряемого объекта после окончания измерения;

- измерение сопротивления контактных соединений заземляющих, защитных проводников и проводников системы уравнивания потенциалов R_{cont} током ± 200 мА разрешением 0,01 Ом;

- графический анализ состояния изоляции по трём характеристикам $R_{ISO}(t)$, $U(t)$, $I(t)$;

- измерение напряжения переменного и постоянного тока до 750 В;

- работа прибора от внутреннего аккумулятора, сети 220 В, автомобильной сети 12 В («прикуривателя»);

- сохранение результатов измерений в память;

- передача данных на ПК с использованием USB интерфейса;

- совместим с ПО Sonel Reader и СОНЭЛ Протоколы 2.0;

- рабочий диапазон температур от -20 °С до +50 °С.

4.2 Основные виды испытаний и характеристик измеряемых параметров

4.2.1 Измерение сопротивления изоляции проводов, кабелей и обмоток электрических машин

Сопротивление изоляции постоянному току $R_{из}$ является основным показателем состояния изоляции, см. форм. 4.1. Наличие грубых внутренних и внешних дефектов (повреждение, увлажнение, поверхностное загрязнение) снижает сопротивление изоляции. Определение $R_{из}$ (Ом) производится методом измерения тока утечки $I_{ут}$, проходящего через изоляцию, при приложении к ней выпрямленного напряжения:

$$R_{из} = U_{прил.выпр} / I_{ут} \quad (4.1)$$

В связи с явлением поляризации, имеющим место в изоляции, определяемое сопротивление $R_{из}$ зависит от времени с момента приложения напряжения. Правильный результат может дать измерение тока утечки по истечению 60 секунд после приложения, т.е. в момент, к которому ток абсорбции в изоляции в основном затухает.

Вторым основным показателем состояния изоляции машин и трансформаторов является коэффициент абсорбции. Коэффициент абсорбции $K_{абс}$ лучше всего определяет увлажнение изоляции. Коэффициент абсорбции $K_{абс}$ - это отношение $R_{из}$, измеренного мегаомметром через 60 сек с момента приложения напряжения, к $R_{из}$ измеренного через 15 секунд после начала приложения испытательного напряжения от мегаомметра, см форм. 2.

$$K_{абс} = R_{60} / R_{15} \quad (4.2)$$

Если изоляция сухая, то коэффициент абсорбции значительно превышает единицу, в то время как у влажной изоляции коэффициент абсорбции близок к единице. Объясняется это временем заряда абсорбционной емкости у сухой и влажной изоляции. В первом случае (сухая изоляция) время велико, ток заряда изменяется медленно значения $R_{из}$, соответствующие 15 и 60 секундам после начала измерения, сильно различаются. Во втором случае (влажная изоляция) время мало - ток заряда изменяется быстро и уже к 15 секундам после начала измерения достигает установившегося значения, поэтому $R_{из}$, соответствующие 15 и 60 секундам после начала измерения, почти не различаются.

4.2.2 Методы измерения

А. Измерение сопротивления изоляции автомата.

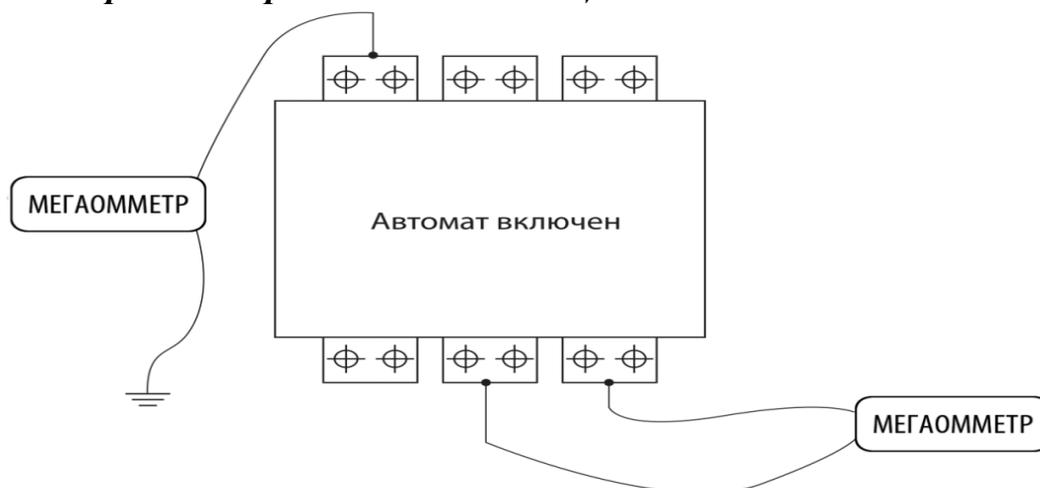


Рисунок 4.1 - Измерение сопротивления изоляции автомата

При подготовке к выполнению измерений сопротивления изоляции проводят следующие операции:

-проверяют по внешнему осмотру состояние выбираемого мегомметра, соединительных проводников, работоспособность мегомметра, согласно техническому описанию. При этом учитывают срок действия госповерки на мегомметр.

При выполнении периодических профилактических работ в электроустановках, а так же при выполнении работ на реконструируемых объектах в электроустановках, подготовку рабочего места выполняет персонал предприятия, где выполняется работа согласно «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей»

Отсчет значений электрического сопротивления при измерении проводят по истечении 1 минуты с момента приложения измерительного напряжения к образцу, но не более чем через 5 минут, если в стандартах или технических условиях на конкретные кабельные изделия или на другое измеряемое оборудование не предусмотрены другие требования.

Перед повторным измерением все металлические элементы кабельного изделия должны быть заземлены не менее чем за 2 мин.

Электрическое сопротивление изоляции отдельных жил одножильных кабелей, проводов и шнуров должно быть измерено:

1. для изделий без металлической оболочки, экрана и брони – между токопроводящей жилой и металлическим стержнем; или между жилой и заземлением.

2. для изделий с металлической оболочкой, экраном и броней – между токопроводящей жилой и металлической оболочкой или экраном, или броней.

Электрическое сопротивление изоляции многожильных кабелей, проводов и шнуров должно быть измерено:

1. для изделий без металлической оболочки, экрана и брони – между каждой токопроводящей жилой и остальными жилами, соединенными между собой или между каждой токопроводящей жилой и остальными жилами, соединенными между собой и заземлением.

2. для изделий с металлической оболочкой, экраном и броней – между каждой токопроводящей жилой и остальными жилами, соединенными между собой и оболочкой или экраном, или броней.

При пониженном сопротивлении изоляции кабелей проводов и шнуров отличной от нормативных правил ПУЭ, ГОСТ необходимо выполнить повторные измерения с отсоединением кабелей, проводов и шнуров от зажимов потребителей и разведением токоведущих жил.

При измерении сопротивления изоляции отдельных образцов кабелей проводов и шнуров, они должны быть отобраны на строительные длины, намотанные на барабаны или бухты, или образцы длиной не менее 10 м, исключая длину концевых разделок, если в стандартах или технических условиях на кабели, провода и шнуры не оговорена другая длина. Число

строительных длин и образцов для измерения должно быть указано в стандартах или технических условиях на кабели, провода и шнуры.

В качестве примера в табл. 4.1 приведены допустимые значения сопротивления изоляции для электрических аппаратов, вторичных цепей и электропроводок до 1000В [табл. 1.8.34 ПУЭ].

Таблица 4.1 - Допустимые значения сопротивления изоляции

Испытуемый элемент	Напряжение мегаомметра, В	Наименьшее допустимое значение сопротивления изоляции, МОм
1. Шины постоянного тока на щитах управления и в распределительных устройствах (при отсоединенных цепях)	500-1000	10
2. Вторичные цепи каждого присоединения и цепи питания приводов выключателей и разъединителей ¹⁾	500-1000	1
3. Цепи управления, защиты, автоматики и измерений, а также цепи возбуждения машин постоянного тока, присоединенные к силовым цепям	500-1000	1
4. Вторичные цепи и элементы при питании от отдельного источника или через разделительный трансформатор, рассчитанные на рабочее напряжение 60 В и ниже ²⁾	500	0,5
5. Электропроводки, в том числе осветительные сети	1000	0,5
6. Распределительные устройства ⁴⁾ , щиты, токопроводы	500-1000	0,5

¹⁾ Измерение производится со всеми присоединенными аппаратами (катушки приводов, контакторы, пускатели, автоматические выключатели, реле, приборы, вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения и т.п.).

²⁾ Должны быть приняты меры для предотвращения повреждения устройств, в особенности микросэлектронных и полупроводниковых элементов.

³⁾ Сопротивление изоляции измеряется между каждым проводом и землей, а также между каждыми двумя проводами.

⁴⁾ Измеряется сопротивление изоляции каждой секции распределительного устройства.

Сопротивление изоляции должны быть не менее значения, приведенного в ГОСТ Р 50571.16-2007, ПУЭ гл.1.8 и ПТЭЭП **П**.

Схемы для проведения испытаний различного электрооборудования представлены на рисунках 2-8.

В. Измерение сопротивления изоляции изоляторов и шинопроводов

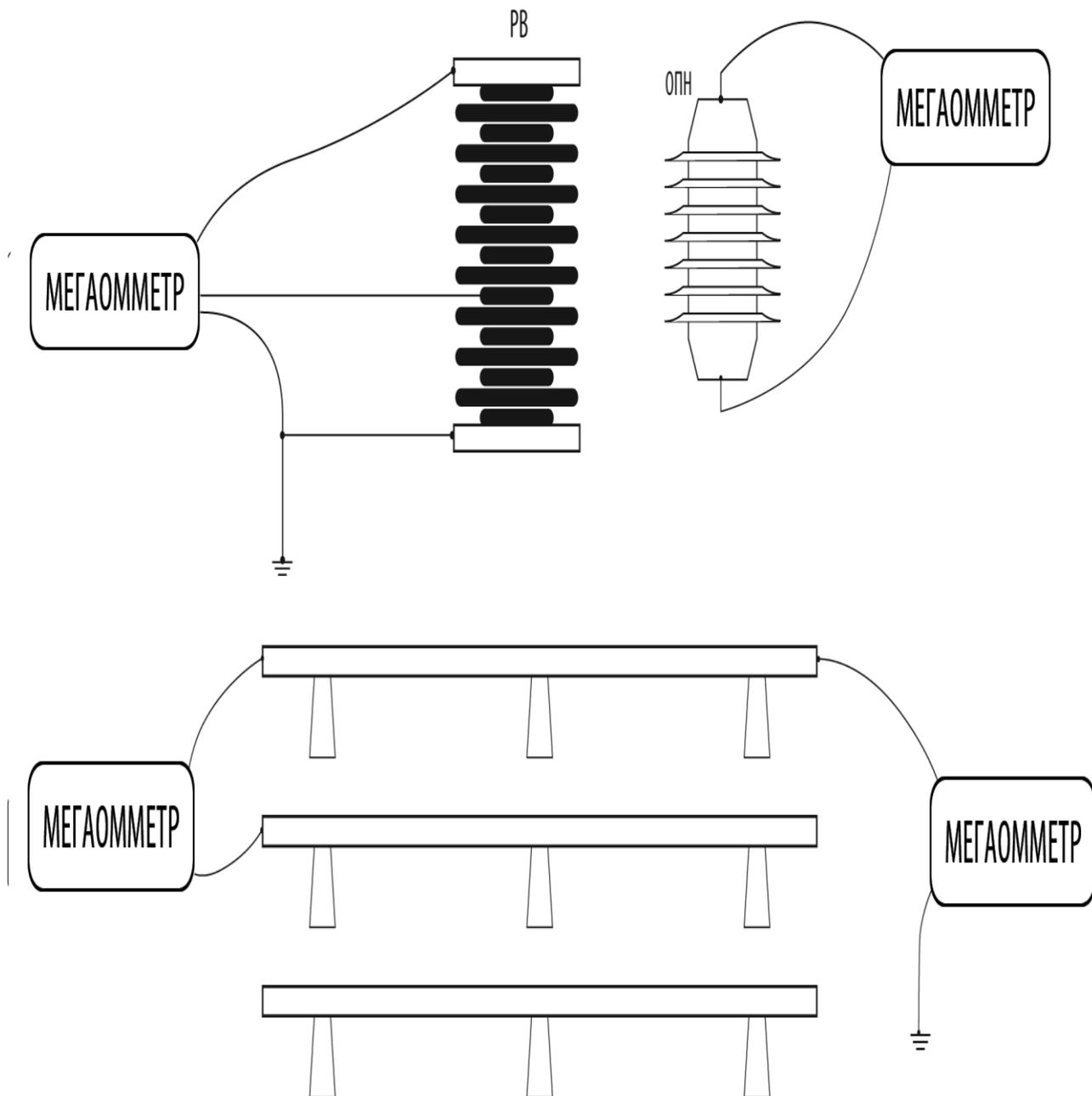


Рисунок 4.2 - Схема измерения сопротивления изоляции изоляторов и шинопроводов

С. Измерения сопротивления изоляции отдельных образцов кабелей проводов и шнуров

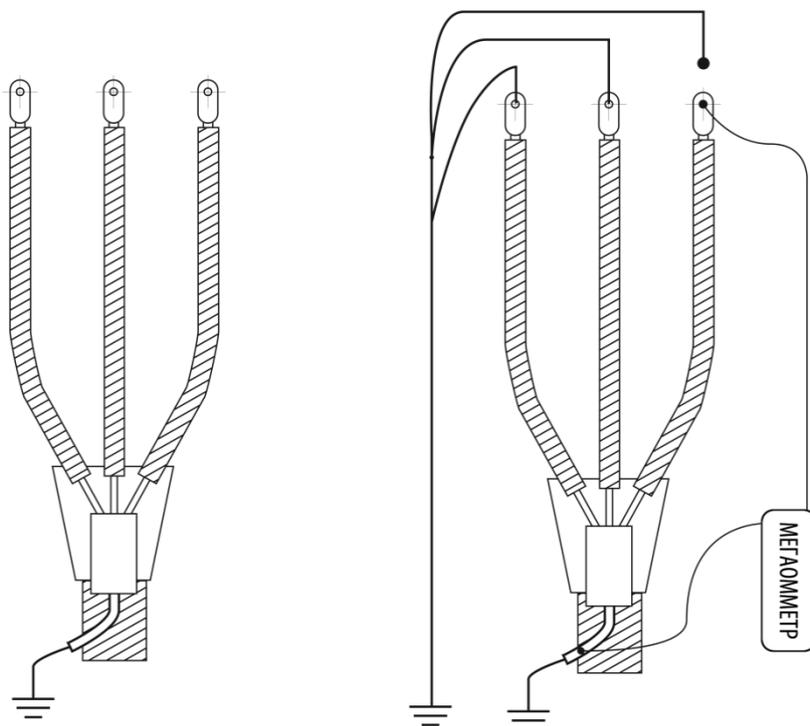


Рисунок 4.3 - Схема измерения сопротивления изоляции отдельных образцов кабелей проводов и шнуров

Д. Измерение сопротивления обмоток трансформатора

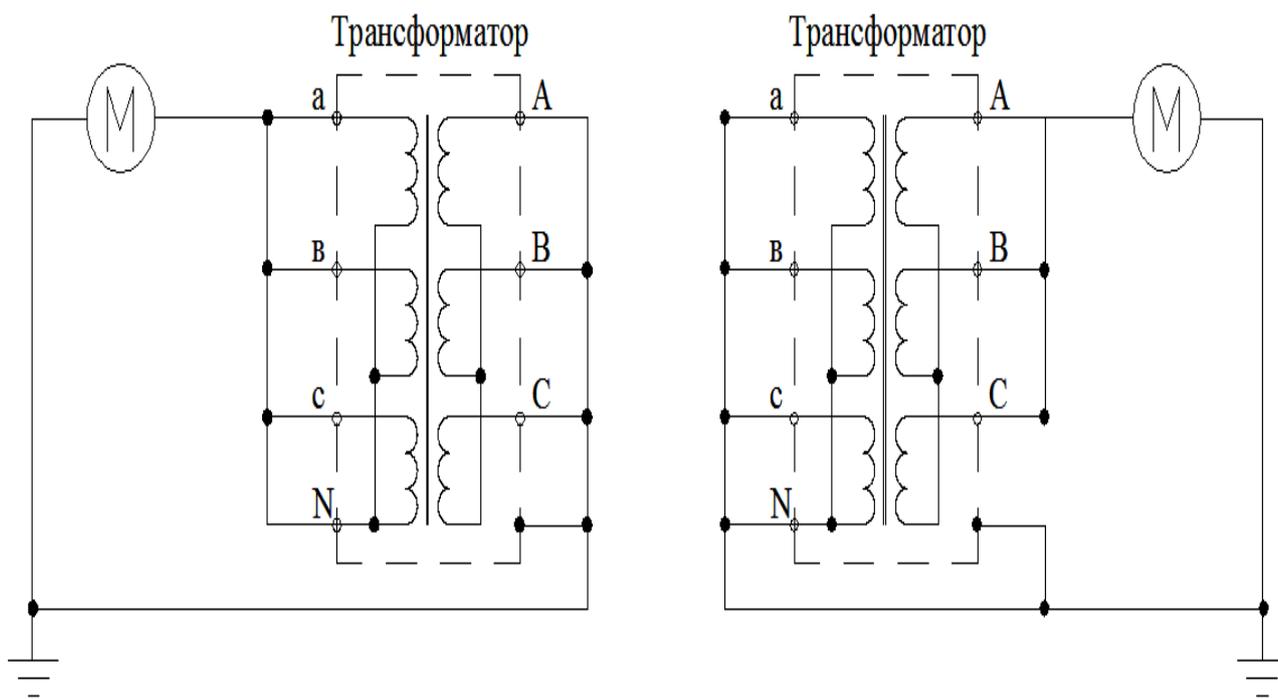


Рисунок 4.4 - Схема измерения сопротивления обмоток

Е. Измерение сопротивления изоляции обмоток

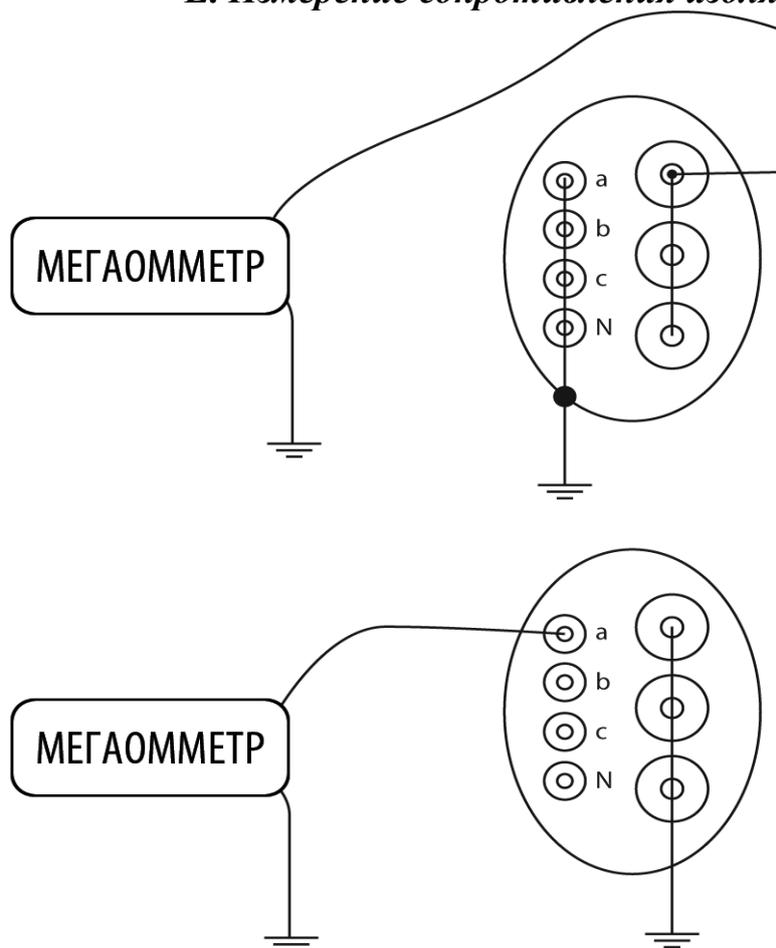


Рисунок 4.5 - Измерение сопротивления изоляции обмоток

К. Измерение сопротивления изоляции обмотки электродвигателя

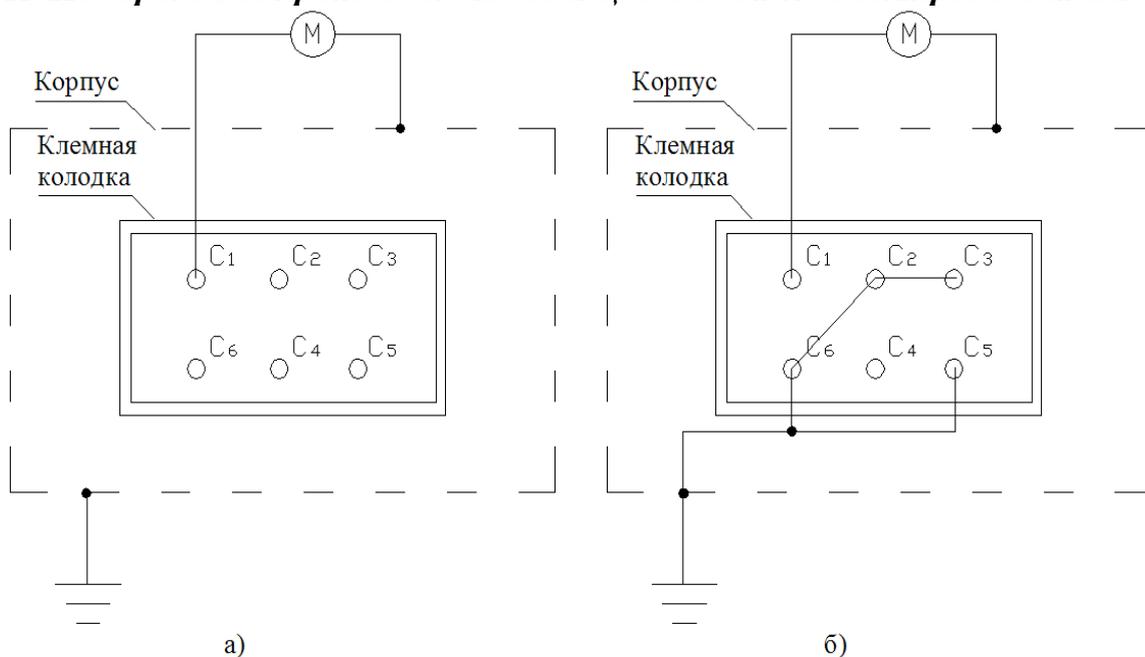


Рисунок 4.6 - Измерение сопротивления изоляции обмотки электродвигателя
 а) измерение сопротивления между обмоткой и корпусом; б) измерение сопротивления между одной обмоткой и остальными обмотками.

Л. Измерение сопротивления изоляции ограничителей перенапряжения

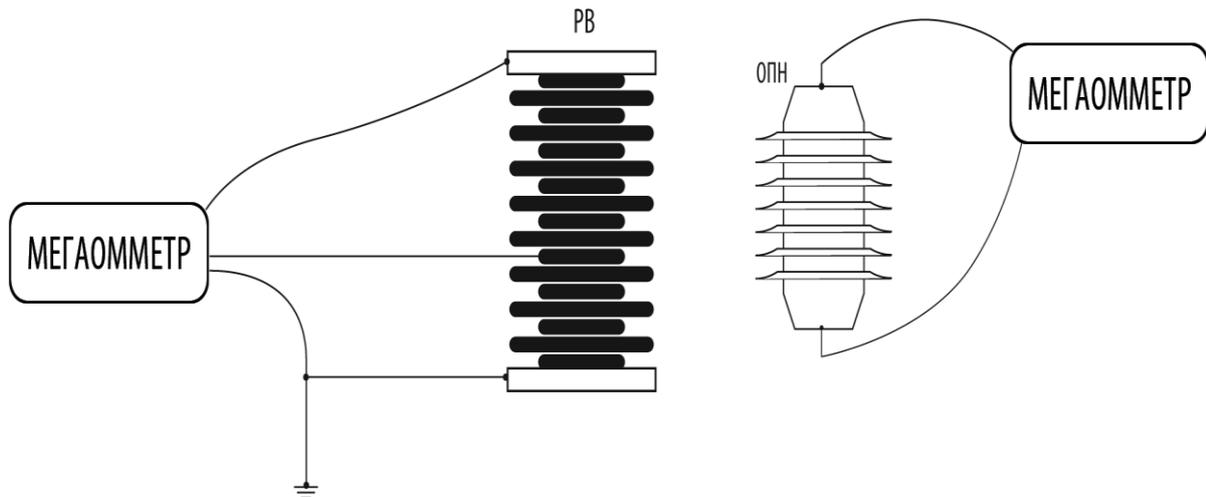


Рисунок 4.7 - Измерение сопротивления изоляции ограничителей перенапряжения

М. Измерение сопротивления изоляции ограничителей

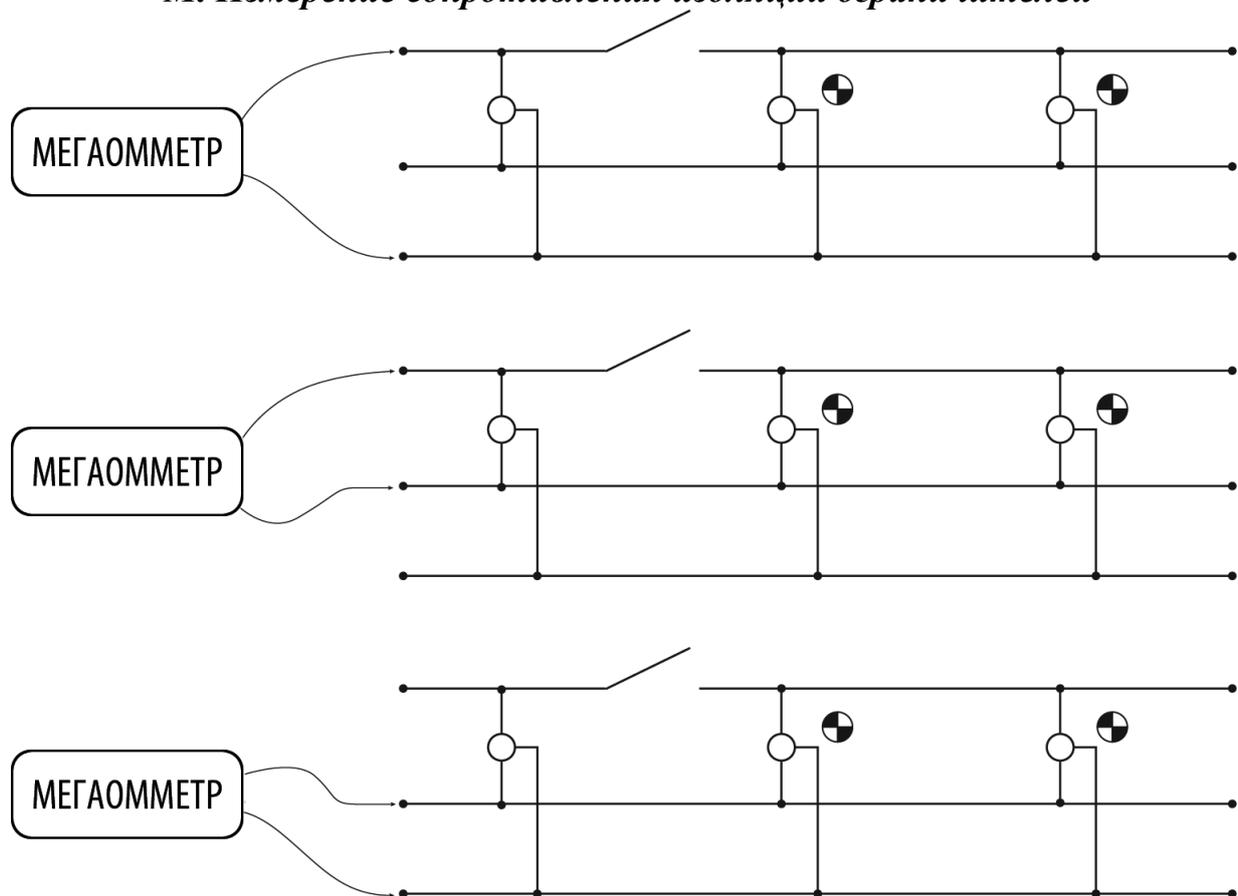


Рисунок 4.8 - Измерение сопротивления изоляции ограничителей перенапряжения (при проведении замера сопротивления между шинами N и РЕ провести отключение шины N от шины N в распределительном щите.)

4.2.3 Проверка наличия цепи между заземлёнными установками и элементами заземлённой установки

Проверка наличия цепи между заземлёнными установками и элементами заземлённой установки проводится при проведении приемо-сдаточных испытаний электроустановки и в течение ее эксплуатации в сроки, устанавливаемые системой планово-предупредительных ремонтов.

Согласно п.1.8.39 п.2 ПУЭ следует проверить сечения, целостность и прочность проводников, их соединений и присоединений. Не должно быть обрывов и видимых дефектов в заземляющих проводниках, соединяющих аппараты с заземлителем.

Надежность сварки проверяется ударом молотка. В соответствии с ГОСТ Р 50571.16-2007 рекомендуется проводить это испытание с использованием источника электропитания, имеющего напряжение холостого хода от 4 до 24 В постоянного или переменного тока при минимальном токе 0,2 А.

Переходное сопротивление контактов должно быть не более 0,05 Ом [п.28.5, прил.3 ПТЭЭП].

4.2.3.1 Защитные проводники (РЕ-проводники)

В качестве РЕ-проводников в электроустановках напряжением до 1 кВ могут использоваться:

1. специально предусмотренные проводники:

- жилы многожильных кабелей;
- изолированные или неизолированные провода в общей оболочке с фазными проводами;
- стационарно проложенные изолированные или неизолированные проводники;

2. открытые проводящие части электроустановок:

- алюминиевые оболочки кабелей;
- стальные трубы электропроводок;
- металлические оболочки и опорные конструкции шинпроводов и комплектных устройств заводского изготовления.

Металлические корпуса и лотки электропроводок можно использовать в качестве защитных проводников при условии, что конструкцией корпусов и лотков предусмотрено такое использование, о чем имеется указание в документации изготовителя, а их расположение исключает возможность механического повреждения.

3. некоторые сторонние проводящие части:

- металлические строительные конструкции зданий и сооружений (фермы, колонны и т. п.);
- металлические конструкции производственного назначения (подкрановые рельсы, галереи, площадки, шахты лифтов, подъемников, элеваторов, обрамления каналов и т.п.).

Сторонние проводящие части могут быть использованы в качестве РЕ-проводников, если они, кроме того, одновременно отвечают следующим требованиям:

-непрерывность электрической цепи обеспечивается либо их конструкцией, либо соответствующими соединениями, защищенными от механических, химических и других повреждений;

-их демонтаж невозможен, если не предусмотрены меры по сохранению непрерывности цепи и ее проводимости.

Наименьшие площади поперечного сечения защитных проводников должны соответствовать табл. 4.2.

Площади сечений приведены для случая, когда защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. Сечения защитных проводников из других материалов должны быть эквивалентны по проводимости приведенным.

Таблица 4.2 - Наименьшие сечения защитных проводников

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

Во всех случаях сечение медных защитных проводников, не входящих в состав кабеля или проложенных не в общей оболочке (трубе, коробе, на одном лотке) с фазными проводниками, должно быть не менее:

-2,5 мм² - при наличии механической защиты;

-4 мм² - при отсутствии механической защиты.

Сечение отдельно проложенных защитных алюминиевых проводников должно быть не менее 16 мм².

4.2.3.2 Совмещенные нулевые защитные и нулевые рабочие проводники (PEN-проводники)

В многофазных цепях в системе TN для стационарно проложенных кабелей, жилы которых имеют площадь поперечного сечения не менее 10 мм² по меди или 16 мм² по алюминию, функции нулевого защитного (PE) и нулевого рабочего (N) проводников могут быть совмещены в одном проводнике (PEN-проводник).

Когда нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены, начиная с какой-либо точки электроустановки, не допускается объединять их за

этой точкой по ходу распределения энергии. В месте разделения *PEN*-проводника на нулевой защитный и нулевой рабочий проводники необходимо предусмотреть отдельные зажимы или шины для проводников, соединенные между собой. *PEN*-проводник питающей линии должен быть подключен к зажиму или шине нулевого защитного *PE*-проводника.

4.2.3.3 Проводники системы уравнивания потенциалов

Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника электроустановки, если сечение проводника уравнивания потенциалов при этом не превышает 25 мм² по меди или равноценное ему из других материалов. Применение проводников большего сечения, как правило, не требуется. Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов в любом случае должно быть не менее: медных - 6 мм², алюминиевых - 16 мм², стальных - 50 мм².

Сечение проводников дополнительной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее:

-при соединении двух открытых проводящих частей - сечения меньшего из защитных проводников, подключенных к этим частям;

-при соединении открытой проводящей части и сторонней проводящей части - половины сечения защитного проводника, подключенного к открытой проводящей части.

4.2.3.4 Главная заземляющая шина

Главная заземляющая шина может быть выполнена внутри вводного устройства электроустановки напряжением до 1 кВ или отдельно от него.

Внутри вводного устройства в качестве главной заземляющей шины следует использовать шину *PE*.

При отдельной установке главная заземляющая шина должна быть расположена в доступном, удобном для обслуживания месте вблизи вводного устройства. Сечение отдельно установленной главной заземляющей шины должно быть не менее сечения *PE(PEN)*-проводника питающей линии.

Главная заземляющая шина должна быть, как правило, медной. Допускается применение главной заземляющей шины из стали. Применение алюминиевых шин не допускается.

4.2.3.5 Система уравнивания потенциалов

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части:

1. нулевой защитный *PE*-или *PEN*-проводник питающей линии в системе *TN*;

2. заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах *IT* и *TT*;

3. заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);

4. металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п. Если трубопровод газоснабжения имеет изолирующую вставку на вводе в здание, к основной системе уравнивания потенциалов присоединяется только та часть трубопровода, которая находится относительно изолирующей вставки со стороны здания;

5. металлические части каркаса здания;

6. металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования. При наличии децентрализованных систем вентиляции и кондиционирования металлические воздуховоды следует присоединять к шине *PE* щитов питания вентиляторов и кондиционеров;

7. заземляющее устройство системы молниезащиты 2-й и 3-й категорий; заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если такое имеется и отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к заземляющему устройству защитного заземления;

8. металлические оболочки телекоммуникационных кабелей. Проводящие части, входящие в здание извне, должны быть соединены как можно ближе к точке их ввода в здание.

Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи проводников системы уравнивания потенциалов.

Дополнительная система уравнивания потенциалов. Система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники в системе *TN* и защитные заземляющие проводники в системах *IT* и *TT*, включая защитные проводники штепсельных розеток.

4.3 Основные технические характеристики прибора

Сокращение «е.м.р.» в определении основной погрешности обозначает «единица младшего разряда». Сокращение «и.в.» в определении основной погрешности обозначает «измеренная величина»

Таблица 4.3 - Измерение напряжения *U* постоянного или переменного тока

Разрешение	Диапазон	Основная погрешность
0,1 В	0...299,9	± (3% и.в. + 2 е.м.р.)
1 В	0...750 В	

Частота переменного напряжения: 45...65 Гц

4.3.1 Измерение сопротивления изоляции

Диапазон измерения согласно IEC 61557-2:

$$R_{ISOmin} = U_{ISOnom} / I_{ISOnom} \dots 1,000 \text{ Т}\Omega \quad (I_{ISOnom} = 1 \text{ мА})$$

Таблица 4.4 – Технические характеристики при двухпроводных измерениях

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0,0...999,9 кОм	0,1 кОм	± (3 % и.в. + 20 е.м.р.)
1,000...9,999 МОм	0,001 МОм	
10,00...99,99 МОм	0,01 МОм	
100,0...999,9 МОм	0,1 МОм	
1,000...9,999 ГОм	0,001 ГОм	
10,00...99,99 ГОм	0,01 ГОм	
100,0...999,9 ГОм	0,1 ГОм	

- Превышение диапазона сигнализируется отображением >xxxx ГОм (где xxxx - это предельное значение для выбранного диапазона).

Ориентировочные максимальные значения измеряемого сопротивления в зависимости от напряжения измерения приведены в таблице ниже. Для других напряжений пределы диапазона можно рассчитать по формуле 1, приведенной ниже.

Таблица 4.5 – Ориентировочные максимальные значения измеряемого сопротивления

Напряжение	Диапазон измерений
до 100 В	50 ГОм
200 В...400 В	100 ГОм
500 В...900 В	250 ГОм
1000 В...2400 В	500 ГОм
2500 В	1000 ГОм

Примечание: для значения сопротивления изоляции ниже R_{ISOmin} точность не определена, из-за работы измерителя с ограничением тока в соответствии с формулой:

$$R_{ISOmin} = \frac{U_{ISOnom}}{I_{ISOnom}} \quad (4.3)$$

где: R_{ISOmin} – минимальное сопротивление изоляции, измеряемое без ограничения тока преобразователя, U_{ISOnom} – номинальное напряжение измерения, I_{ISOnom} – номинальный ток преобразователя (1 мА).

Таблица 4.6 - Измерение тока утечки

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
$0 \dots I_{Lmax}$	милли-, микро-, нано-	Рассчитывается на основании показаний сопротивления

где I_{Lmax} – максимальный ток при замыкании проводов, разрешение и размерность вытекают из диапазона измерения сопротивления изоляции.

4.3.2 Измерение сопротивления защитных и выравнивающих потенциал соединений током ± 200 мА

Таблица 4.7 - Диапазон измерений, согласно IEC 61557-4: 0,10...999 Ом

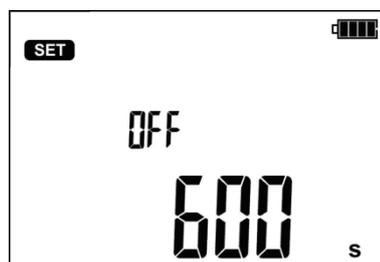
Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0,00...19,99 Ом	0,01 Ом	$\pm(2\% \text{ и.в.} + 3 \text{ е.м.р.})$
20,0...199,9 Ом	0,1 Ом	
200...999 Ом	1 Ом	$\pm(4\% \text{ и.в.} + 3 \text{ е.м.р.})$

- Напряжение на разомкнутых клеммах: 4...24 В
- Выходной ток при $R < 2$ Ом: $I_{SC} > 200$ мА
- Компенсация сопротивления измерительных проводов
- Измерения для двух полярностей тока.
- Превышение диапазона сигнализируется сообщением >999 Ом.

4.4 Подготовка прибора к работе

4.4.1 Настройка измерителя

- ①  Включите измеритель, удерживая нажатой клавишу УСТ/ВЫБ.



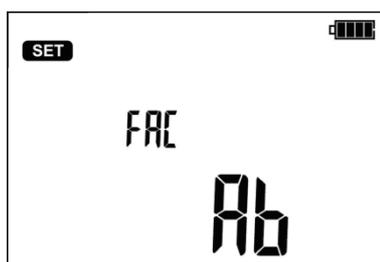
- ②  Клавишами \uparrow и \downarrow установите значение времени до автоматического выключения (Auto-OFF) или отключите эту функцию (горизонтальные черточки – функция Auto-OFF неактивна). Функция автоматического выключения (Auto-OFF) через заданное время приведет к отключению неиспользуемого прибора.

- 3  Клавишами ← и → перейдите к экрану настройки звуковых сообщений: bEEP.



- 4  Клавишами ↑ и ↓ установить звуковые сообщения во включенное (ON) или выключенное (OFF) состояние.

- 5  Клавишами ← и → перейти к выбору типа коэффициентов абсорбции: FAC.



- 6  Клавишами ↑ и ↓ установить коэффициенты Ab1, Ab2 (Ab) или PI, DAR (P).

- 7  Клавишами ← и → перейти к экрану обновления программного обеспечения измерителя: UPdt.



- 8  Нажмите клавишу ВВОД для входа в режим обновления.

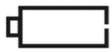
После изменения параметров, можно покинуть меню установок (не относится к экрану в режиме обновления):

- 9  Нажмите клавишу ВВОД, чтобы сохранить настройки или клавишу СТОП/ОТМ для перехода к экрану измерений без сохранения изменений. 

4.4.2 Питание измерителя

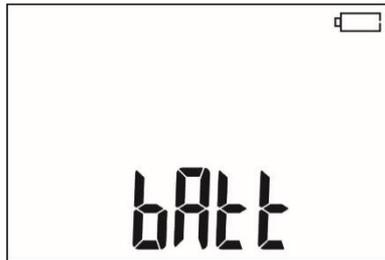
1. Информация о состоянии элементов питания. Текущий уровень заряда аккумулятора обозначается символом в верхнем правом углу дисплея:

 Аккумулятор полностью заряжен.



Аккумулятор разряжен.

Возможно только измерение напряжения.



Аккумулятор полностью разряжен, все измерения блокируются. Измеритель автоматически отключится через 5 секунд.

2. Замена элементов питания

ВНИМАНИЕ!

Измеритель ТМ-2501 работает от фирменного аккумулятора SONEL NiMH 9,6В, который можно заменить только в авторизованной службе сервиса.

3. Зарядка аккумуляторов. Зарядное устройство, установленное внутри прибора, работает только с фирменным пакетом аккумуляторов. Оно питается от внешнего блока питания. Возможно также питание от автомобильного прикуривателя (12 В) с помощью дополнительного адаптера.

Зарядка начинается после подключения питания к измерителю, независимо от того, прибор выключен или нет, отличается только режим зарядки, описанный ниже. Изменение заполнения символа аккумулятора на дисплее и свечение диодов измерительных функций (поочередно зажимаются красным цветом и гаснут) свидетельствует о процессе зарядки.

4.5 Измерение сопротивления изоляции проводов, кабелей и обмоток электрических машин

ВНИМАНИЕ

1. Подключение поврежденных или нестандартных измерительных проводов, в частности, не рассчитанных на высокое напряжение, грозит поражением электрическим током или очень большими погрешностями измерения.

2. Перед подключением измерителя к объекту, убедитесь в отсутствии на нем напряжения!

4.5.1 Двухпроводный метод измерения

①



Клавишами << или >> перейти к измерению R_{ISO} (горит светодиод ) . Прибор находится в режиме измерения напряжения.

②



Нажимая клавишу **УСТ/ВЫБ** можно перейти к выбору измерительного напряжения U_N , времени для расчета коэффициентов абсорбции t_1, t_2, t_3 и интервала между

точками характеристики.



Клавишами \uparrow и \downarrow задайте значение U_{ISO}

3

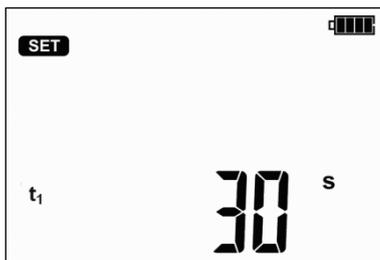


и подтвердите его нажатием клавиши **ВВОД**
или



нажмите клавишу \rightarrow и перейдите к установке времени
для расчета коэффициентов абсорбции.

4



С помощью клавиш \uparrow и \downarrow задайте значение t_1 , затем
нажимая клавишу \rightarrow перейдите к установке t_2 , а потом t_3 .

5



Следующее нажатие \rightarrow вызывает переход к установке
интервала времени для снятия характеристики R_{ISO} .

6



Клавишами \uparrow и \downarrow установите значение интервала (15, 30
или 60 с). Горизонтальные черточки означают
отсутствие снятия характеристики.

7



Нажмите клавишу **ВВОД**, чтобы
сохранить настройки или клавишу
СТОП/ОТМ для выхода без сохранения
изменений.

8



Подключите измерительные провода согласно рисунку.

9

Подключите измерительные провода согласно рисунку

10



Прибор готов к измерению.

11



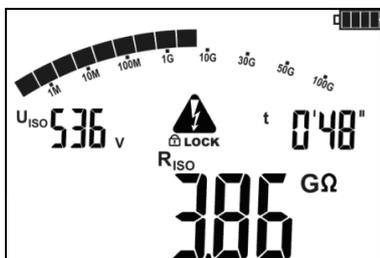
Нажмите и удерживайте клавишу **СТАРТ**. Измерение выполняется непрерывно, вплоть до отпускания кнопки или по достижению запрограммированного времени.



В течение 5 с или



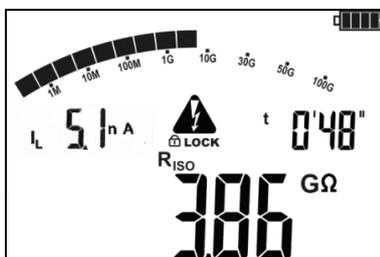
В целях блокировки измерения нажмите клавишу **СТАРТ** и удерживайте в течение 5 с или нажмите клавишу **ВВОД**, удерживая нажатой клавишу **СТАРТ** - появится символ **LOCK** информирующий об автоматическом измерении, после чего можно отпустить клавиши. Измерение будет завершено после истечения наибольшего из заданных значений времени t_1 , t_2 или t_3 . Для того, чтобы прервать измерение досрочно или прекратить его в случае отсутствия заданных t_1 , t_2 или t_3 (измерение без ограничения времени) еще раз нажмите на кнопку **СТАРТ** или **СТОП/ОТМ**.



Вид экрана во время измерения. **LOCK** означает, что идет автоматическое измерение т.е. запущено с помощью клавиши **ВВОД** или при нажатии и удерживании клавиши **СТАРТ** в течение приблизительно 5-ти секунд.



Нажимая клавишу **УСТ/ВЫБ**, можно переключиться к отображению значения тока утечки I_L .



12



После окончания или прерывания измерения, на дисплее можно считать результат. Отображаются результаты всех измерений, которые были проведены (также в случае прерывания измерения, например, по истечении 60 с). Если прибор переключился в состояние готовности, то результат измерения можно вернуть на экран клавишей **ВВОД**.

Клавишами \leftarrow и \rightarrow можно просматривать отдельные составляющие результата в порядке:

13



$R_{ISO} \rightarrow I_L \rightarrow Ab2 \rightarrow Ab1 \rightarrow Rt3 \rightarrow It3 \rightarrow Rt2 \rightarrow It2 \rightarrow Rt1 \rightarrow It1 \rightarrow R_{ISO}$.

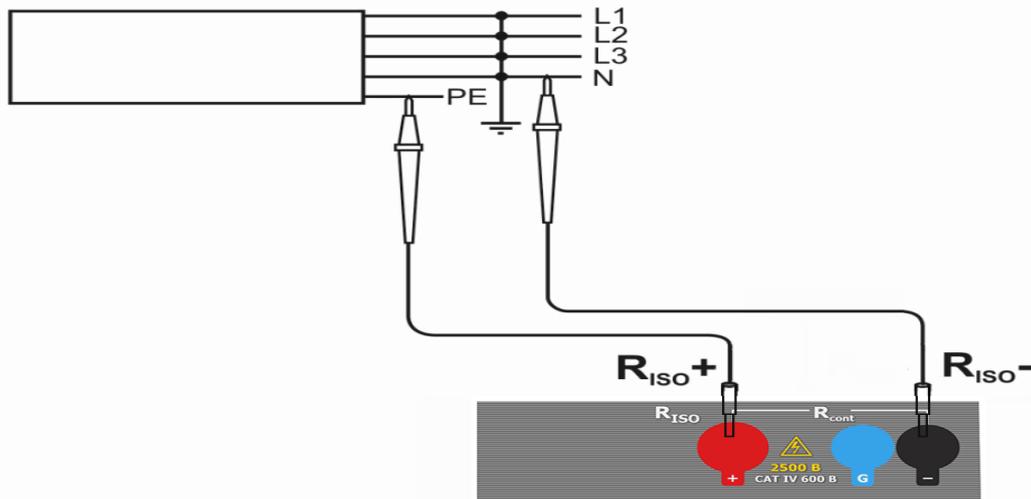
В случае прерывания измерений отображаются частичные результаты измерений, которые были проведены, а также --- (прочерки) для измерений, которые не были сделаны. Если была измерена характеристика, то ее результаты можно увидеть между It_1 и R_{ISO} .

⚠ При измерениях сопротивления изоляции на зондах измерительных проводов прибора ТМ-2501 присутствует опасное напряжение до 2,5 кВ.

⚠ Запрещается отключение измерительных проводов до завершения измерения. Это создает опасность поражения высоким напряжением и исключает возможность снятия электрического заряда с измеряемого объекта.

- Выключение времени t_2 приводит также к отключению времени t_3 ($t_1 < t_2 < t_3$).
- Секундомер обратного отсчета времени измерения запускается в момент стабилизации напряжения U_{ISO} .
- Сообщение **LIMIT** означает работу с ограничением тока преобразователя. Если это состояние сохраняется в течение 20 с измерение останавливается
- Если таймер доходит до предустановленных значений (значения времени t_x или времени характеристики), то в течение 1с на месте U_{ISO} отображается символ этой точки и выдается длинный звуковой сигнал.
- Во время измерения мигает желтый светодиод.
- После окончания измерения, происходит разряд емкости измеряемого объекта путем замыкание разъемов R_{ISO+} и R_{ISO-} сопротивлением 100 кОм. Отображается сообщение «diS». Не отсоединяйте измерительные провода до полного окончания разрядки объекта.

- Если при просмотре результатов на клеммах R_{ISO} появляется напряжение, светодиод R_{ISO} будет мигать красным светом, кроме того, вырабатывается двухтональный звуковой сигнал.



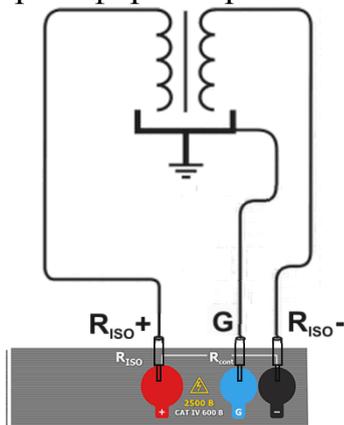
В случае силовых электрических кабелей, нужно измерять сопротивление изоляции между каждой жилой и остальными, накоротко замкнутыми и заземленными (рисунок выше):

	Наличие напряжения на клеммах измерительного прибора.
NOISE!	На исследуемом объекте присутствует напряжение помех более 25 В, но менее 50 В. Измерение возможно, однако, может возникнуть дополнительная погрешность.
надпись READY исчезает, светодиод горит красным цветом, слышен двухтональный звуковой сигнал	На исследуемом объекте присутствует напряжение помех больше 50 В. Измерения блокируются.
LIMIT I!	Включение токового ограничения. Появление символа сопровождается непрерывным звуковым сигналом.
ILE	Пробой изоляции объекта, измерение прерывается. Надпись появляется после символа LIMIT I! , оставаясь в течение 20 секунд в режиме измерения в случае, когда напряжение ранее достигло номинального уровня.
ILLE , светодиод R_{ISO} мигает красным цветом, слышен двухтональный звуковой сигнал	Во время измерения появилось переменное напряжение или не удалось разрядить объект в течение 30 секунд. Немедленно отсоедините измерительные провода.

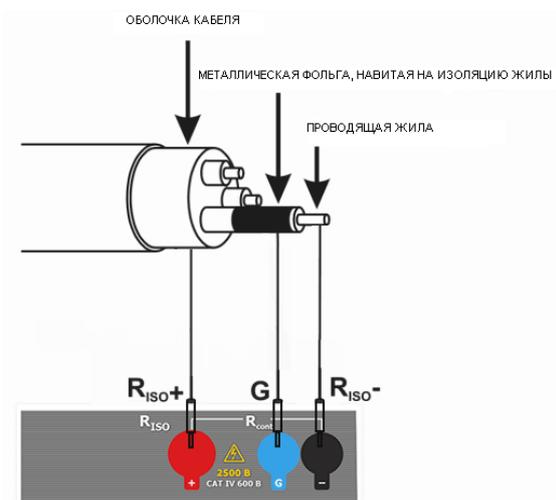
4.5.2 Трехпроводный метод измерения

Для того чтобы исключить влияние поверхностных токов при измерении сопротивления обмотки трансформатора, необходимо использовать трехпроводный метод измерения.

При измерении необходимо подключить разъем **G** к корпусу трансформатора.



При измерении сопротивления между жилой кабеля и экраном, влияние поверхностных токов (особое влияние оказывают при сложных погодных условиях) исключают присоединением



Таким же способом подключается разъем **G** при измерении сопротивления между двумя жилами к третьей, не участвующей в процессе измерения.

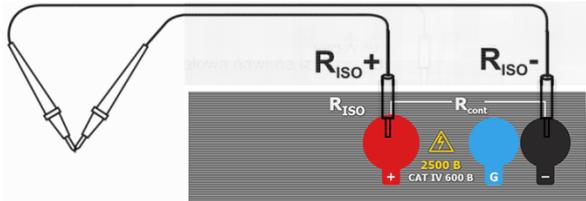
4.6 Проверка наличия цепи между заземленными установками и элементами заземленной установки

При измерении малых сопротивлений, существенное влияние на результат может оказывать сопротивление измерительных проводников. Необходимо выполнить калибровку.

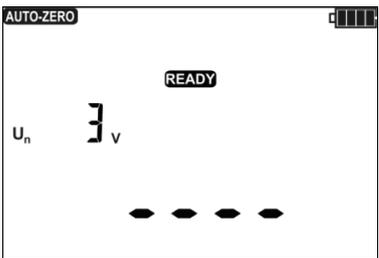
4.6.1 Компенсация сопротивления измерительных проводников (калибровка)

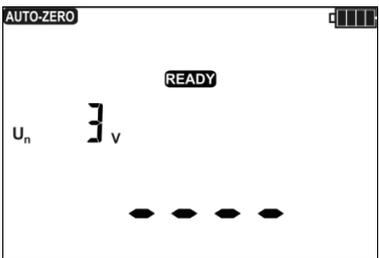
Чтобы исключить влияние сопротивления измерительных проводов на результат измерения R_{CONT} , можно провести их компенсацию (автоматическое обнуление).

- ①  В режиме R_{CONT} (горит светодиод ) нажмите клавишу **УСТ/ВЫБ** для перехода к экрану автоматического обнуления сопротивления измерительных проводов.

- ②  Замкните измерительные провода – должна отображаться надпись **READY**.

- ③  Нажмите клавишу **СТАРТ**.

- ④  Появляется мигающая надпись **AUTO-ZERO**, свидетельствующая о выполнении калибровки измерительных проводов.

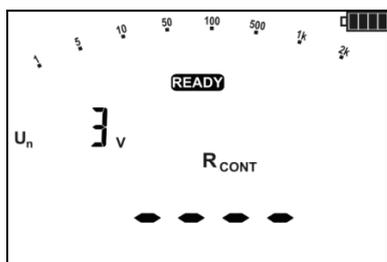
- ④  Функцию калибровки измерительных проводников доступна только для режима R_{CONT} . Компенсация действует также после выключения и повторного включения прибора.

- ⑤ Для отмены компенсации (возврат к заводской калибровке) необходимо выполнить указанные выше действия с разомкнутыми измерительными проводами, на месте результата появится надпись **oFF** (компенсация сопротивления проводов отключена).

- ⑥  Возврат к экрану измерения R_{CONT} после нажатия клавиши **УСТ/ВЫБ**

4.6.2 Измерение сопротивления проводников присоединения к земле и выравнивания потенциалов

- ①  Клавишами << или >> перейти к измерению R_{CONT} (горит светодиод ). Прибор находится в режиме измерения напряжения.



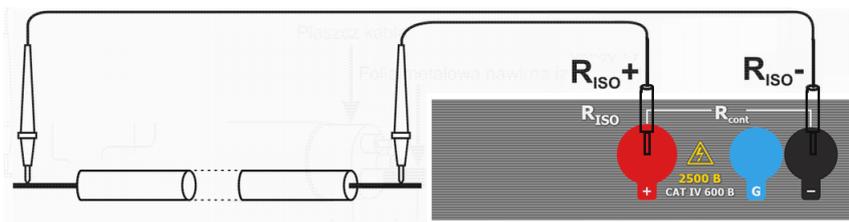
Прибор готов к измерению.

Подключите измеритель к исследуемому объекту.

2



Запустите измерение вручную, клавишей **СТАРТ**.



3



Считайте результат.

4



Для запуска следующего измерения без отсоединения измерительных проводов от объекта, нажмите **СТАРТ**.

Таблица 4.8 - Дополнительная информация, отображаемая измерителем

<p>NOISE!</p>	<p>На исследуемом объекте присутствует напряжение помех. Измерение возможно, но с дополнительной погрешностью, указанной в технических данных.</p>
<p>UdEt, светодиод RCONT мигает красным цветом, слышен двухтональный, звуковой сигнал</p>	<p>Напряжение помех больше допустимого значения, измерение блокируется.</p>

4.7 Требование при проведении измерений

Работники ЭЛ (как работники организаций, направляемые для выполнения работ в действующих, строящихся, технически перевооружаемых, реконструируемых электроустановках и не состоящие в штате организаций – владельцев электроустановки) относятся к командированному персоналу [1].

Командируемые работники должны иметь удостоверение установленной формы о проверке знаний норм и правил работы в электроустановках с отметкой о группе, присвоенной комиссией командировающей организации. Командирующая организация несет ответственность за соответствие присвоенных командированным работникам групп, а также за соблюдением персоналом нормативных документов по безопасному выполнению работ.

Организация работ командировочного персонала предусматривает прохождение следующих процедур выполняемых до начала работ:

- извещение организации-владельца электроустановки письмом о цели командировки, а также составе и квалификации командировочного персонала ЭЛ;

- определение и предоставление организацией-владельцем командированным работникам права работы в действующих электроустановках (в качестве выдающих наряд, ответственных руководителей и производителей работ, членов бригады);

- проведение с командированным персоналом по его прибытии вводного и первичного инструктажей по электробезопасности;

- ознакомление командированного персонала с электрической схемой и особенностями электроустановки, в которой ему предстоит работать (причем работник которому предоставляется право исполнять обязанности производителя работ должен пройти инструктаж по схеме электроснабжения электроустановки);

- проведение работниками организации-владельца подготовки рабочего места и допуск командированного персонала к работам.

Организация, в электроустановках которой производятся работы командированным персоналом, несет ответственность за выполнение предусмотренных мер безопасности и допуск к работам.

Работы выполняются на основании наряда-допуска, распоряжения или в порядке текущей эксплуатации [1]. Кроме того, при проведении испытаний и измерений следует:

1. Руководствоваться указаниями паспортов (инструкций по эксплуатации) используемых приборов и инструкций по технике безопасности (действующими на предприятии, где выполняются измерения), а также дополнительными требованиями по безопасности, определенными в нарядах-допусках, распоряжениях, инструктажах.

2. Проверять отсутствие напряжения (проверять отсутствие напряжения необходимо испытанным указателем напряжения, исправность которого должна быть проверена на заведомо находящихся под напряжением частях

электроустановки - п. 19.1 «Правил по охране труда» ПОТЭЭ). Отсутствие напряжения следует проверять как между всеми фазами, так и между фазой и землей. Причем, в электроустановках с системой TN-C следует сделать не менее шести замеров, а в электроустановках с системой TN-S –десяти замеров.

3. Производить подключение и отключение всех измерительных приборов при снятом напряжении.

4. Обеспечивать применение защитных средств и инструмента с изолирующими рукоятками, испытанных согласно «Инструкции по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках» [1].

Производящая работы бригада должна состоять не менее чем из двух человек, в том числе производитель работ с группой по электробезопасности не ниже IV и член бригады с группой по электробезопасности не ниже III группы.

Руководитель группы, начальник ЭЛ (он же выдающий задание), должен иметь группу по электробезопасности V в электроустановках напряжением выше 1000 В и IV- в электроустановках напряжением до 1000 В. При проведении измерений запрещается приближаться к токоведущим частям на расстояния менее указанных в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Допустимые расстояния до токоведущих частей, находящихся под напряжением

Напряжение, кВ		Расстояние от людей и применяемых инструментов и приспособлений, временных ограждений, м	Расстояние от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении, от стропов, грузозахватных приспособлений грузов, м
До 1	На ВЛ	0,6	1,0
	В остальных электроустановках	Не нормируется (без прикосновения)	1,0
1-35		0,6	1,0
60*,110		1,0	1,5
150		1,5	2,0
220		2,0	2,5
330		2,5	3,5
400*,500		3,5	4,5
750		5,0	6,0
1150		8,0	10,0

- * - постоянный ток

Погрешность измерения определяется по формуле:

$$\Delta = \pm (\text{и.в.} \cdot \delta_{\text{и}} / 100 + X1 \text{ епр}), \quad (4.4\Delta)$$

где: и.в. – измеряемая величина (показания прибора);

δ_i – относительная погрешность измерения %

X1 – число единиц младшего разряда. Зависит от серии прибора и диапазона отображения (см. технические характеристики).

Таблица 4.10 - Дополнительная погрешность согласно IEC 61557-2 (RISO)

Влияющая величина	Обозначение	Дополнительная погрешность
Местоположение	E1	0%
Напряжение питания	E2	0% (не отображается ВАТ)
Температура 0...35°C	E3	0,1%/°C

Таблица 4.11- Дополнительная погрешность согласно IEC 61557-4 (R ± 200 мА)

Влияющая величина	Обозначение	Дополнительная погрешность
Местоположение	E1	0%
Напряжение питания	E2	0,5% (не отображается ВАТ)
Температура 0...35°C	E3	1,5%

Перед проведением измерений необходимо по возможности уменьшить количество факторов, вызывающих дополнительную погрешность.

Контроль точности результатов измерений обеспечивается ежегодной поверкой приборов в органах Госстандарта РФ. Приборы должны иметь действующие свидетельства о госповерке. Сроки действия свидетельства о поверке прибора должны быть приведены в протоколе. Выполнение измерений прибором с просроченным сроком поверки не допускается.

1. Протокол испытаний должен содержать достоверные, объективные и точные результаты испытаний, данные об условиях испытаний и погрешности измерений, заключение о соответствии испытываемой электроустановки здания требованиям нормативных документов и проектной документации и показывать точно, четко и недвусмысленно результаты испытаний.

2. Протокол испытаний должен содержать следующие основные сведения:

- наименование и адрес испытательной лаборатории;
- регистрационный номер, дату выдачи и срок действия аттестата аккредитации, наименование аккредитующей организации, выдавшей аттестат (при наличии) или свидетельство о регистрации в органах государственного энергетического надзора;
- номер и дату регистрации протокола испытаний, нумерацию каждой страницы протокола, а также общее количество страниц;
- полное наименование электроустановки и ее элементный состав;
- код ОКП;
- наименование организации или фамилию, имя, отчество заказчика и его адрес;
- дату получения заявки на испытания;
- наименование и адрес монтажной организации;

- сведения о проектной документации, в соответствии с которой смонтирована электроустановка;
- сведения об актах скрытых работ (организация, номер, дата);
- дату проведения испытаний;
- место проведения испытаний;
- климатические условия проведения испытаний (температура, влажность, давление);
- цель испытаний (приемо-сдаточные, для целей сертификации, сличительные, контрольные);
- программу испытаний (объем испытаний в виде перечисления пунктов (разделов) нормативного документа на требования к электроустановке и ее элементному составу).

Примечание - Программа испытаний может быть приведена в приложении к протоколу испытаний;

- нормативный документ, на соответствие требованиям которого проведены испытания (стандарт, правила, нормы и т. п.);
- перечень применяемого испытательного оборудования и средств измерений с указанием наименования и типа испытательного оборудования и средств измерений, диапазона и точности измерений, данных о номере метрологического аттестата или свидетельства;
- значения показателей по нормативным документам и допусков при необходимости;
- фактические значения показателей испытанных электроустановок с указанием погрешности измерений при необходимости;
- вывод о соответствии нормативному документу по каждому показателю;
- информацию о дополнительном протоколе испытаний, выполненных на условиях субподряда (при его наличии);
- заключение о соответствии (или несоответствии) испытанной электроустановки, ее элементов требованиям стандартов или других нормативных документов;
- подписи и должности лиц, ответственных за проведение испытаний и оформление протокола испытаний; - печать испытательной лаборатории (или организации);
- указание о недопустимости частичной или полной перепечатки.

3. На титульном листе указывают, что протокол испытаний распространяется только на электроустановку.

4. Исправления и дополнения в тексте протокола испытаний после его выпуска не допускаются. При необходимости их оформляют только в виде отдельного документа «Дополнение к протоколу испытаний» (номер, дата).

5. В протоколе испытаний не допускается помещать рекомендации и советы по устранению недостатков или совершенствованию испытанных электроустановок.

6. Копии протоколов испытаний подлежат хранению в испытательной организации не менее шести лет.

4.8 РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ФОРМЫ ПРОТОКОЛОВ

4.10.1 Протокол измерения сопротивления изоляции электропроводок и кабельных линий

Испытательная лаборатория электроустановок
Зданий (ИЛЭЗ)
Аттестат аккредитации
Действителен до « » г.

Заказчик: « »
Объект:
Адрес: г. Иркутск,
Дата проведения измерений: « » _____ 20__ г.

ПРОТОКОЛ № _____
проверки сопротивления изоляции проводов, кабелей и обмоток электрических машин

Климатические условия при проведении измерений

Температура воздуха _____ °С. Влажность воздуха _____ %. Атмосферное давление _____ кПа

Цель измерений (испытаний)

_____ (приёмо-сдаточные, сличительные, контрольные испытания, эксплуатационные, для целей сертификации)

Нормативные и технические документы, на соответствие требованиям которых проведены измерения (испытания):

1. Результаты измерений:

№ п/п	Наименование линий, электрических машин по проекту, рабочее напряжение.	Марка провода, кабеля, кол-во жил сечение провода, кабеля. (мм ²)	Напряжение мегомметра (В)	Допуст. сопротив. изоляции (МОм)	Сопротивление изоляции, (МОм)										
					A-B	B-C	C-A	A-N (PEN)	B-N (PEN)	C-N (PEN)	A-PE	B-PE	C-PE	N-PE	
					L ₁ -L ₂	L ₂ -L ₃	L ₃ -L ₁	L ₁ -N	L ₂ -N	L ₃ -N	L ₁ -PE	L ₂ -PE	L ₃ -PE		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1															
2															
3															

2. Измерения проведены приборами:

№ п/п	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики		Дата поверки		№ аттестата (свидетельства)	Орган государственной метрологической службы, проводивший поверку
			Диапазон измерения	Класс точности	последняя	очередная		
1								
2								
3								
4								

Примечание: Допустимое сопротивление изоляции проводов в электроустановке напряжением <60 В не менее 0,5 МОм.

Заключение: _____

Испытания провели:

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О.)

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О.)

Протокол проверил:

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О.)

4.8.1 Протокол проверки наличия цепи между заземленными установками и элементами заземленной установки

Испытательная лаборатория электроустановок
Зданий (ИЛЭЗ)
Аттестат аккредитации
Действителен до « » г.

Заказчик: « »
Объект:
Адрес: г. Иркутск,
Дата проведения измерений: « » _____ 20__ г.

ПРОТОКОЛ № _____
проверки наличия цепи между заземлёнными установками
и элементами заземлённой установки

Климатические условия при проведении измерений

Температура воздуха _____ °С. Влажность воздуха _____ %. Атмосферное давление _____ кПа

Цель измерений (испытаний)

(приёмо-сдаточные, сличительные, контрольные испытания, эксплуатационные, для целей сертификации)

Нормативные и технические документы, на соответствие требованиям которых проведены проверки (испытания):

3. Результаты измерений:

№ п/п	Месторасположение и наименование электрооборудования	Количество проверенных элементов	R перех. измеренное, (Ом)
1	2	3	4
1			
2			
3			

4. Измерения проведены приборами:

№ п/п	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики		Дата поверки		№ аттестата (свидетельства)	Орган государственной метрологической службы, проводивший поверку
			Диапазон измерения	Класс точности	последняя	очередная		
1								
2								
3								
4								

Примечание: Допустимое значение переходного сопротивления контакта по нормативному документу $\leq 0,05$ Ом (ПУЭ п.1.8.39; ГОСТ Р50571.3-2009; ГОСТ Р50571.16-2007; ПТЭЭП прил. 3)

Заключение: _____

Испытания провели:

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О.)

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О.)

Протокол проверил:

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О.)

5 ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ПРИБОРОМ ТС-20

5.1 Общая характеристика прибора для измерения петли короткого замыкания ТС-20

Прибор ТС-20 является измерителем параметров петли короткого замыкания. ТС-20 – это переносной измеритель, производящий измерение полного сопротивления петли короткого замыкания и автоматический расчёт ожидаемого тока короткого замыкания с учётом номинального напряжения электроустановки.



Рисунок 5.1 – Прибор ТС-20 для измерения петли короткого замыкания

Прибор рекомендован для проведения измерений в электроустановках зданий и сооружений, в которых погрешность, вызванная пренебрежением реактивным сопротивлением, может иметь существенное значение.

Результаты измерений помогут решить следующие вопросы:

- Какое значение ожидаемого тока короткого замыкания использовать при выборе аппарата защиты от сверхтоков;
- Правильно ли выбраны номинал и время-токовая характеристика существующего автоматического выключателя или плавкого предохранителя;
- Какой характер исследуемой цепи - емкостной или индуктивный;
- Есть ли ошибки электромонтажа.

Сокращение «е.м.р.» в определении основной погрешности обозначает «единица младшего разряда». Сокращение «и.в.» в определении основной погрешности обозначает «измеренная величина».

Таблица 5.1 - Измерение напряжения переменного тока (True RMS)

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0...440 В	1 В	$\pm(2\% \text{ и.в.} + 2 \text{ е.м.р})$

Диапазон частоты: 45...65 Гц

Таблица 5.2 - Измерение параметров петли короткого замыкания ZL-PE, ZL-N, ZL-L

Измерительный провод	Диапазон измерения ZS
1,2 м	0,24...200 Ом
5 м	0,26...200 Ом
10 м	0,28...200 Ом
20 м	0,35...200 Ом

Диапазон согласно ГОСТ Р МЭК 61557-3

Таблица 5.3 - Измерение полного сопротивления петли короткого замыкания ZS

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0,00...19,99 Ом	0,01 Ом	$\pm(2,5\% \text{ и.в.} + 5 \text{ е.м.р})$
20,0...99,9 Ом	0,1 Ом	$\pm(2,5\% \text{ и.в.} + 3 \text{ е.м.р})$
100...200 Ом	1 Ом	$\pm(3\% \text{ и.в.} + 3 \text{ е.м.р})$

Диапазон измерения ZS

Номинальные рабочие напряжения UnL-N/ UnL-L: 220/380 В, 230/400 В, 240/415 В

Диапазон рабочего напряжения: 180...270 В (для ZL-PE и ZL-N) и 180...440 В (для ZL-L)

Номинальная частота сети f_n : 50 Гц, 60 Гц

Максимальный ток измерения: 15,3 А для 230 В (10 мс) и 26,7 А для 400 В (10 мс)

Таблица 5.4 - Измерение активного RS и реактивного XS сопротивления петли короткого замыкания

Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0,00..19,99 Ом	0,01 Ом	$\pm(5\% + 5 \text{ е.м.р})$ значения ZS
20,0..199,9 Ом	0,1 Ом	$\pm(5\% + 5 \text{ е.м.р})$ значения ZS

Измеритель параметров петли короткого замыкания ТС-20 предназначен в первую очередь для проверки согласования параметров цепи "фаза - нуль" с характеристиками аппаратов защиты и проверки непрерывности защитных проводников.

Прибор внесён в Государственный реестр средств измерений и

поставляется с поверкой. Результаты измерений могут быть отражены в Протоколах сертификационных, приёмо-сдаточных и периодических испытаний в электроустановках.

Измеритель ТС-20 применяется также при наладке и эксплуатационном контроле состояния сетей электропитания жилых домов, офисов и производственных объектов.

Прибор может быть эффективно использован:

-электросетевыми компаниями (при техническом обслуживании электроустановок);

-службами эксплуатации электрических сетей в нефтегазодобывающих компаниях, в управляющих компаниях ЖКХ, на промышленных предприятиях;

-строительными и монтажными организациями, при производстве электромонтажных работ;

-организациями надзора и контроля в электрических сетях и электроустановках потребителей;

-электроизмерительными лабораториями.

Результаты измерений помогут решить следующие вопросы:

1.Какое значение ожидаемого тока короткого замыкания использовать при выборе аппарата защиты от сверхтоков?

2.Правильно ли выбраны номинал и время-токовая характеристика существующего автоматического выключателя или плавкого предохранителя?

3.Какой характер исследуемой цепи -- емкостной или индуктивный?

4.Есть ли ошибки электромонтажа

Дополнительные технические данные:

1. тип изоляции двойная, в соответствии с PN-EN 61010-1 и IEC 61557

2. измерительная категория III 300 В по PN-EN 61010-1

3. степень защиты корпуса согласно PN-EN 60529 IP67

4. питание измерителя алкалиновые батарейки LR6 или NiMH аккумуляторы тип AA (4 шт.)

5. размеры 220x98x58 мм

6. масса прибора с комплектом батареек 509 г

7. температура хранения $-20...+70^{\circ}\text{C}$

8. рабочая температура $-20...+50^{\circ}\text{C}$

9. влажность 20...80%

10. температура при калибровке $+23 \pm 2^{\circ}\text{C}$

11. влажность при калибровке 40...60%

12. высота над уровнем моря. < 2000 м

13. количество измерений Zs на аккумуляторах >5000 (2 изме. в минуту)

14. прибор соответствует требованиям стандарта IEC 61557

15. прибор удовлетворяет требованиям по электромагнитной совместимости (устойчивость к промышленным помехам) согласно стандартам PN-EN 61326-1:2006 и PN-EN 61326-2-2:2006

5.2 Основные виды испытаний и характеристик измеряемых параметров прибором ТС-20

5.2.1 Проверка цепи «фаза-нуль» в электроустановках до 1000В с системой TN

Проверка цепи «фаза-нуль» проводится с целью проверки надежности срабатывания аппаратов защиты от сверхтоков при замыкании фазного проводника на открытые проводящие части. Защита должна обеспечивать отключение поврежденного участка при КЗ в конце защищаемой линии.

При выполнении автоматического отключения питания в электроустановках напряжением до 1 кВ все открытые проводящие части должны быть присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания, если применена система TN, и заземлены, если применены системы IT или TT. При этом характеристики защитных аппаратов и параметры защитных проводников должны быть согласованы, чтобы обеспечивалось нормированное время отключения поврежденной цепи защитно-коммутационным аппаратом в соответствии с номинальным фазным напряжением питающей сети.

В электроустановках, в которых в качестве защитной меры применено автоматическое отключение питания, должно быть выполнено уравнивание потенциалов.

Для автоматического отключения питания могут быть применены защитно-коммутационные аппараты, реагирующие на сверхтоки или на дифференциальный ток.

Электроустановки до 1000В с глухозаземленной нейтралью

п.1.7.79 ПУЭ. В системе TN время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в табл. 5.1.

Таблица 5.1 - Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы TN

Номинальное фазное напряжение U_0 , В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

Приведенные значения времени отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых цепях, питающих передвижные и переносные электроприемники и ручной электроинструмент класса 1.

В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и др. щиты и щитки, время отключения не должно превышать 5 с.

Допускаются значения времени отключения более указанных в табл. 1.7.1, но не более 5 с в цепях, питающих только стационарные

электроприемники от распределительных щитов или щитков при выполнении одного из следующих условий:

1. полное сопротивление, защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком не превышает значения, Ом:

$$50 \cdot Z_{\Sigma} / U_o, \quad (5.1)$$

где Z_{Σ} - полное сопротивление цепи «фаза-нуль», Ом;

U_o - номинальное фазное напряжение цепи, В;

50 - падение напряжения на участке защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком, В;

2. к шине РЕ распределительного щита или щитка присоединена дополнительная система уравнивания потенциалов, охватывающая те же сторонние проводящие части, что и основная система уравнивания потенциалов.

Условие обеспечения защитного автоматического отключения в пределах нормированного времени.

$$I_{изм} > K_n \times I_{min}, \quad (5.2)$$

где: $I_{изм}$ - непосредственное показание прибора, А.

I_{min} - минимальный допустимый ток К.З., А.

K_n – повышающий коэффициент. Для приемо-сдаточных испытаний согласно ГОСТ Р 50517.16, ГОСТ Р 50030.2-2010. При проведении периодического контроля действующих электроустановок согласно п. 28.4 прил. 3 ПТЭЭП.

Таблица 5.2 - Значение I_{min} короткого замыкания

Виды защиты от однофазных замыканий	Значение I_{min} при t_{max}	
	0,4 с	5 с
Плавкая вставка предохранителя	I_{max} по время-токовой характеристике	I_{max} по время-токовой характеристике
Автоматический выключатель соответствующий ГОСТ Р 50030.2-2010	$I_{отс} \times 1,2$	I_{max} по время-токовой характеристике с холодного состояния при $T = +5^{\circ}C$
Автоматический выключатель соответствующий ГОСТ Р 50345-2010 типа: В С D	$I_n \times 5$ $I_n \times 10$ $I_n \times 20$	I_{max} по время-токовой характеристике с холодного состояния при $T = +5^{\circ}C$

$$I_{max} = K_T \times I_{втх}, \quad (5.3)$$

где: K_m - температурный коэффициент, который рассчитывается из условия: при уменьшении температуры наружного воздуха на 2°C , ток срабатывания теплового расцепителя увеличивается на 1% (используется для приведения время-токовых характеристик, снятых при различных температурах, к температуре $+5^\circ\text{C}$). Для время-токовой характеристики, снятой при температуре 40°C , $K_m = 1,18$. Для время-токовой характеристики, снятой при температуре 20°C , $K_m = 1,08$.

$I_{вмх}$ - срок срабатывания теплового расцепителя при температуре отличной от $+5^\circ\text{C}$.

В электроустановках напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью с целью обеспечения автоматического отключения аварийного участка проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой защитный проводник возникал ток КЗ, превышающий не менее чем:

-в 3 раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя;

-в 3 раза номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику.

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), проводимость указанных проводников должна обеспечивать ток не ниже уставки тока мгновенного срабатывания, умноженной на коэффициент, учитывающий разброс (по заводским данным), и на коэффициент запаса 1,1. При отсутствии заводских данных для автоматических выключателей с номинальным током до 100 А кратность тока КЗ относительно уставки следует принимать не менее 1,4, а для автоматических выключателей с номинальным током более 100 А - не менее 1,25.

Полная проводимость нулевого защитного проводника во всех случаях должна быть не менее 50 % проводимости фазного проводника.

5.2.2 Метод измерения

Проверка производится одним из следующих способов:

1. непосредственным измерением тока однофазного замыкания на корпус или нулевой защитный проводник (с помощью отдельного источника питания);
2. измерением полного сопротивления цепи фаза - нулевой защитный проводник с последующим вычислением тока однофазного замыкания (метод падения напряжения).

В приборах марки SONEL используется метод измерения полного сопротивления петли короткого замыкания путём «искусственного короткого замыкания» (метод падения напряжения) испытуемой цепи через резистор, ограничивающий величину измерительного тока (рис. 5.2). Измеряется напряжение на гнездах прибора непосредственно перед протеканием

измерительного тока и в процессе протекания измерительного тока с учётом векторной структуры напряжения и тока. Далее процессор вычисляет полное сопротивление петли короткого замыкания, выделяет его активную и реактивную компоненты, а также фазный угол, который возникнет в испытываемой цепи в случае короткого замыкания.

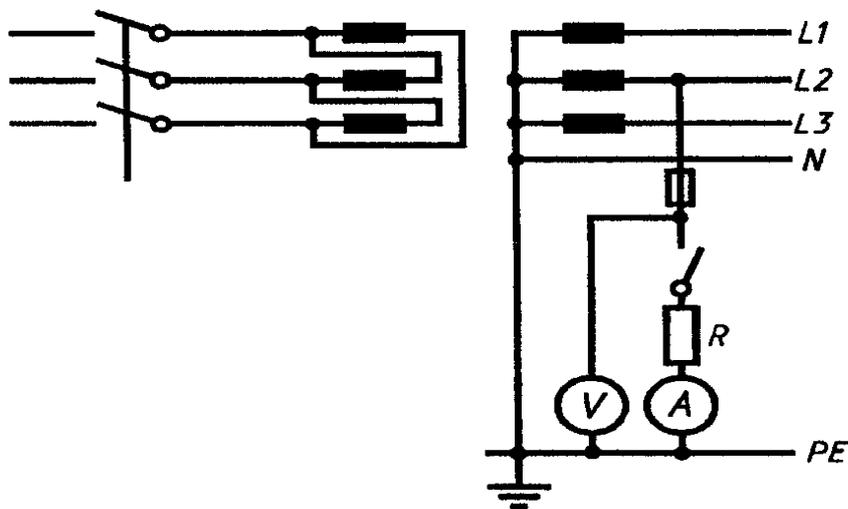


Рисунок 5.2 - Метод падения напряжения

$$Z = \frac{U_1 - U_2}{I_R}, \quad (5.4)$$

где Z - полное сопротивление петли «фаза—нуль», Ом;
 U_1 - напряжение, измеренное при отключенном сопротивлении нагрузки, В;
 U_2 - напряжение, измеренное при включенном сопротивлении нагрузки, В;
 I_R - ток, протекающий через сопротивление нагрузки, А.

Максимальный ток измерения: 15,3 А для 230 В (10 мс) и 26,7 А для 400 В (10 мс). Прибор всегда измеряет полное (активное) сопротивление, а отображаемый на дисплее ожидаемый ток короткого замыкания вычисляется по формуле:

$$I_k = \frac{U_o}{Z_s} \quad (5.5)$$

где: U_o - номинальное напряжение исследуемой сети (имеется возможность выбора номинального напряжения), Z_s - измеренное полное (активное) сопротивление.

5.2.3 Средства измерений

Приборы серии ТС и MZC – это переносные измерители, производящие расчет ожидаемого тока короткого замыкания на основании измерения полного сопротивления петли короткого замыкания. Прибор рекомендован для проведения измерений в электроустановках, сетях зданий, сооружений и промышленных предприятий, в которых погрешность, вызванная пренебрежением реактивным сопротивлением, может иметь существенное

значение. На основе показаний прибора по измерению и расчету ожидаемого тока короткого замыкания можно выбрать уставку электромагнитного расцепителя автоматического выключателя или номинальный ток плавкой вставки.

Согласно ГОСТ Р МЭК 61557-3, максимальная погрешность измерительной аппаратуры в рабочих условиях применения, выраженная в процентах, в пределах диапазона измерений не должна превышать $\pm 30\%$ измеренного значения. Указанная погрешность должна быть маркирована на измерительной аппаратуре или указана в нормативных документах на нее. В зависимости от места измерения (трансформаторная подстанция, распределительная сеть, групповая сеть), необходимо использовать измеритель ТС-20, MZC-304 или MZC-310S.

5.2.4 Схемы измерения

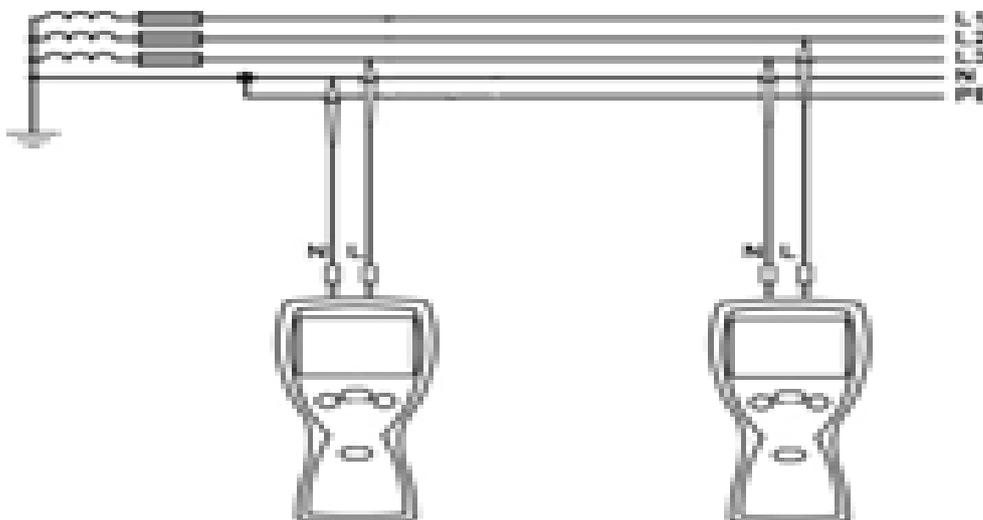


Рисунок 5.3 - Система TN-C-S

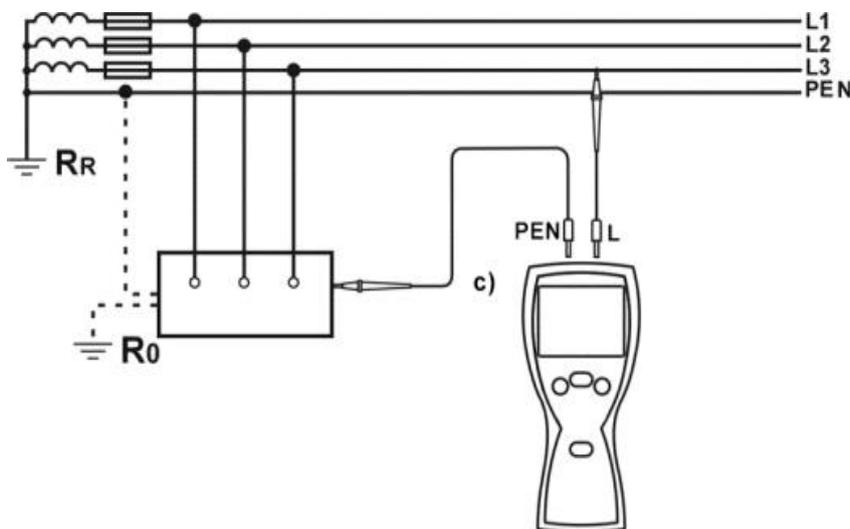


Рисунок 5.4 - Система TN-C

5.3 Подготовка прибора к работе

Настройка измерителя предусматривает следующие операции:

- 1  Удерживая нажатой клавишу СТАРТ , включите измеритель с помощью клавиши ВЫКЛ  и подождите, пока не появится экран выбора параметров. Кратковременное нажатие клавиши ВЫКЛ, при одновременно нажатой клавише СТАРТ, включит прибор без подсветки дисплея. Удержание нажатой клавиши ВЫКЛ, при нажатой клавише СТАРТ, включит подсветку дисплея измерителя.



Нажимая кнопку  вниз или вверх , можно менять значения данной настройки.

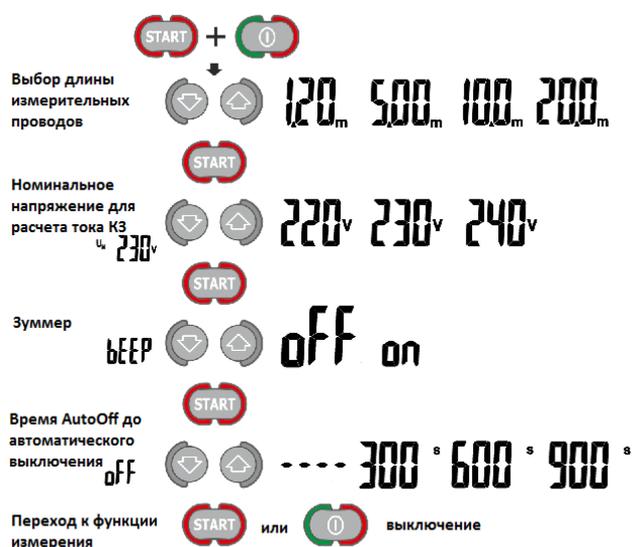


С помощью клавиши СТАРТ выполняется подтверждение установленного параметра с одновременным переходом к следующей настройке.



Нажимая клавишу включения и выключения прибора ВЫКЛ можно выйти из функции настройки параметров, без их подтверждения, с одновременным переходом в режим готовности прибора к измерению.

- 2 Установить параметры согласно следующему алгоритму:



- 3  Подтвердить изменения и перейти к функции измерения с помощью клавиши СТАРТ или

- 4  перейти к функции измерения, не подтверждая внесенные изменения с помощью клавиши ВЫКЛ.

Примечания:

Перед началом первого измерения следует выбрать номинальное напряжение сети U_n (220/380 В, 230/400 В или 240/415 В), которое действует в месте проведения измерений. Это напряжение используется для вычисления значения ожидаемого тока короткого замыкания I_k . - Символ ---- в настройках интервала времени до автоматического отключения измерителя, означает его отсутствие.

5.4 Измерение параметров петли короткого замыкания

Если в проверяемой цепи имеются выключатели УЗО, то на время измерения сопротивления их следует зашунтировать при помощи мостов. Нужно помнить, что таким образом производятся изменения в измеряемой цепи и результаты могут несколько отличаться от действительности. Каждый раз после измерений следует удалить изменения, проведенные на время измерений, и проверить работу выключателя УЗО.

Измерение сопротивления петли короткого замыкания для цепей с преобразователями частоты (инверторами) являются неэффективным, а результаты измерений могут иметь дополнительную погрешность. Это связано с изменением сопротивления схемы инвертора при его работе. Не следует проводить измерение параметров петли короткого замыкания прямо на преобразователях.

1. Выбор длины фазного проводника

Настройте параметры, согласно приведенному ниже алгоритму и правилам, описанным при настройке общих параметров.

При использовании проводов с разъемами «банан» на концах, до начала измерения нужно выбрать подходящую длину фазного провода, соответствующую длине измерительного провода.



2. Расчет ожидаемого тока короткого замыкания

Прибор всегда измеряет сопротивление, а отображаемый ток короткого замыкания рассчитывается по формуле:

$$I_k = \frac{U_n}{Z_s} \quad (3.1)$$

где: U_n – номинальное напряжение тестируемой сети, Z_s – измеренное сопротивление.

На основе выбранного в общих настройках номинального напряжения U_n производится расчет ожидаемого тока короткого замыкания.

В случае, когда напряжение измеряемой сети окажется за пределом

допуска, прибор не сможет правильно определить номинальное напряжение для расчета тока короткого замыкания. В этом случае вместо значения тока короткого замыкания на дисплее появятся горизонтальные черточки. На рисунке ниже показаны диапазоны напряжений, для которых рассчитывается ток короткого замыкания.



Рисунок 5.5 - Измерение параметров петли короткого замыкания L-N(PEN), L-PE, L-L.

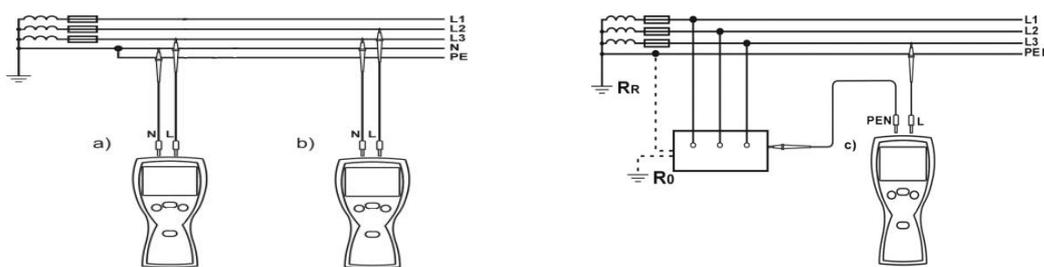
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:

Во время измерений петли короткого замыкания нельзя прикасаться к заземленным и токопроводящим частям тестируемой электроустановки

В цепи, защищенной УЗО, в которой на время выполнения измерения были внесены изменения, направленные на обход выключателя УЗО, следует помнить о возврате в состояние, гарантирующее правильную работу этого выключателя.

1. Включите измеритель.

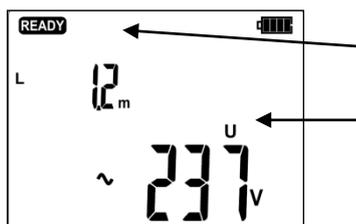
2. В зависимости от потребностей выберите длину провода и значение номинального напряжения тестируемой сети



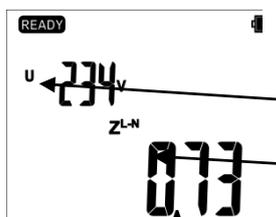
3. Прибор готов к измерению.

Длина фазного провода L

Напряжение U_{L-N} или U_{L-L}



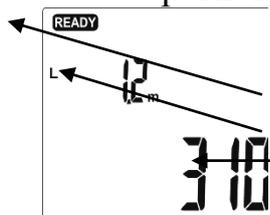
4. Выполнить измерение, нажимая клавишу СТАРТ.



Основной результат измерения:
напряжение сети в момент измерения
сопротивление петли короткого замыкания Z_S

5. Значение тока короткого замыкания I_K и отдельных составляющих полного сопротивления Z_S (R , X_L) можно увидеть, нажимая клавиши стрелок вверх  или вниз  для показаний, отображаемых в обратном порядке.

или



Индикация:
Состояние готовности
Длина провода
Ток короткого замыкания I_K



R активное сопротивление петли короткого замыкания



X_L реактивное сопротивление петли короткого замыкания

Таблица 5.3 - Дополнительная информация, отображаемая измерителем

	Прибор готов к выполнению измерения.
	Напряжение на разъемах L и PEN измерителя выходит за пределы диапазона, для которого можно выполнить измерение. Не подключен провод N (PEN).
	Частота переменного напряжения вне диапазона 45...65 Гц
	Ошибка во время измерения.
	Ошибка в процессе измерения – потеря напряжения при измерении.
	Повреждение цепи короткого замыкания измерителя.
	Надпись, появляющаяся после измерения, свидетельствует о больших помехах в сети во время измерения. Результат измерения может получить большую погрешность неопределенной величины.
	Температура внутри прибора поднялась выше допустимой. Измерение блокируется.
	Превышен измерительный диапазон.

Пример расчета

Дано: система TN, номинальное напряжение электроустановки 220 В, в этажном электрощите для защиты розеточной группы установлен автоматический выключатель номинальным током 25 Ампер с время-токовой характеристикой «С».

Задание: проверить правильность выбора аппарата защиты от сверхтоков.

Решение:

1. Изучаем нормативные документы. ГОСТ Р 50571.16-2007 для системы TN предлагает нам провести измерение сопротивления петли "фаза - нуль" и проверить характеристику защитного устройства. ПУЭ (раздел 1.7.79) сообщает нам наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы TN -- для номинального напряжения 220 В оно не должно превысить 0,4 секунды.

2. Изучаем время-токовую характеристику срабатывания нашего автоматического выключателя. Для выполнения требований вышеуказанных нормативных документов выбираем кратность 10 и рассчитываем требуемый для гарантированного срабатывания ток КЗ. $I = 1,1 \times 25 \times 10 = 275 \text{ А}$

3. Производим измерение прибором ТС-20 и получаем такие результаты:
 $U_n = 229 \text{ В}$, $Z_s = 1.04 \text{ Ом}$, $I_k = 211,5 \text{ А}$.

4. Сравниваем полученное значение ожидаемого тока короткого замыкания с требуемым 275 А.

Ответ: ток гарантированного срабатывания исследуемого автоматического выключателя больше, чем может возникнуть в схеме, исследуемый автоматический выключатель не обеспечивает выполнения требований нормативных документов и надёжности защиты от свехтоков исследуемой розеточной группы. Автоматический выключатель установлен неправильно и подлежит замене.

5.5 Требования при проведении измерений

В соответствии с главой XLVI «Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» работники ЭЛ (как работники организаций, направляемые для выполнения работ в действующих, строящихся, технически перевооружаемых, реконструируемых электроустановках и не состоящие в штате организаций – владельцев электроустановки) относятся к командированному персоналу.

Командируемые работники должны иметь удостоверения установленной формы о проверке знаний норм и правил работы в электроустановках с отметкой о группе, присвоенной комиссией командирующей организации. Командирующая организация несет ответственность за соответствие присвоенных командированным работникам групп, а также за соблюдением персоналом нормативных документов по безопасному выполнению работ.

Организация работ командировочного персонала предусматривает

прохождение следующих процедур выполняемых до начала работ:

- извещение организации - владельца электроустановки письмом о цели командировки, а также составе и квалификации командировочного персонала ЭЛ;

- определение и предоставление организацией-владельцем командированным работникам права работы в действующих электроустановках (в качестве выдающих наряд, ответственных руководителей и производителей работ, членов бригады);

- проведение с командированным персоналом по его прибытии вводного и первичного инструктажей по электробезопасности;

- ознакомление командированного персонала с электрической схемой и особенностями электроустановки, в которой ему предстоит работать (причем работник которому предоставляется право исполнять обязанности производителя работ должен пройти инструктаж по схеме электроснабжения электроустановки);

- проведение работниками организации - владельца подготовки рабочего места и допуск командированного персонала к работам.

Организация, в электроустановках которой производятся работы командированным персоналом, несет ответственность за выполнение предусмотренных мер безопасности и допуск к работам.

Работы выполняются на основании наряда-допуска, распоряжения или в порядке текущей эксплуатации в соответствии с требованиями главы XXXIX «Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок. ПОТ ПЭЭ». Кроме того, при проведении испытаний и измерений следует:

Руководствоваться указаниями паспортов (инструкций по эксплуатации) используемых приборов и инструкций по технике безопасности (действующими на предприятии, где выполняются измерения), а также дополнительными требованиями по безопасности, определенными в нарядах-допусках, распоряжениях, инструктажах.

Проверять отсутствие напряжения (проверять отсутствие напряжения необходимо испытанным указателем напряжения, исправность которого должна быть проверена на заведомо находящихся под напряжением частях электроустановки - п. 19.1 «Правил по охране труда» ПОТЭЭ). Отсутствие напряжения следует проверять как между всеми фазами, так и между фазой и землей. Причем, в электроустановках с системой TN-C следует сделать не менее шести замеров, а в электроустановках с системой TN-S –десяти замеров.

Производить подключение и отключение всех измерительных приборов при снятом напряжении.

Обеспечивать применение защитных средств и инструмента с изолирующими рукоятками, испытанных согласно «Инструкции по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках», утвержденной приказом Минэнерго России от 30.06.2003 г. за № 261.

Производящая работы бригада должна состоять не менее чем из двух

человек, в том числе производитель работ с группой по электробезопасности не ниже IV и член бригады с группой по электробезопасности не ниже III группы.

Руководитель группы, начальник ЭЛ (он же выдающий задание), должен иметь группу по электробезопасности V в электроустановках напряжением выше 1000 В и IV- в электроустановках напряжением до 1000 В. При проведении измерений запрещается приближаться к токоведущим частям на расстояния менее указанных в таблице:

Таблица 5.4 - Допустимые расстояния до токоведущих частей, находящихся под напряжением

Напряжение, кВ		Расстояние от людей и применяемых инструментов и приспособлений.	Расстояние от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении, от стропов,
До 1 кВ	На ВЛ	0,6	1,0
	В остальных электроустановках	Не нормируется (без прикосновения)	1,0
1-35		0,6	1,0
60*,110		1,0	1,5
150		1,5	2,0
220		2,0	2,5
330		2,5	3,5
400*,500		3,5	4,5
750		5,0	6,0
1150		8,0	10,0

* - постоянный ток

Контроль точности результатов измерений обеспечивается ежегодной поверкой приборов в органах Госстандарта РФ. Приборы должны иметь действующие свидетельства о поверке. Сроки действия свидетельства о поверке прибора должны быть приведены в протоколе. Выполнение измерений прибором с просроченным сроком поверки не допускается.

Протокол испытаний должен содержать достоверные, объективные и точные результаты испытаний, данные об условиях испытаний и погрешности измерений, заключение о соответствии испытуемой электроустановки здания требованиям нормативных документов и проектной документации и показывать точно, четко и недвусмысленно результаты испытаний и другую относящуюся к ним информацию.

Протокол испытаний должен содержать следующие основные сведения:

- наименование и адрес испытательной лаборатории;
- регистрационный номер, дату выдачи и срок действия аттестата аккредитации, наименование аккредитующей организации, выдавшей аттестат (при наличии) или свидетельство о регистрации в органах государственного энергетического надзора;

- номер и дату регистрации протокола испытаний, нумерацию каждой страницы протокола, а также общее количество страниц;
- полное наименование электроустановки и ее элементный состав;
- код ОКП;
- наименование организации или фамилию, имя, отчество заказчика и его адрес;
- дату получения заявки на испытания;
- наименование и адрес монтажной организации;
- сведения о проектной документации, в соответствии с которой смонтирована электроустановка;
- сведения об актах скрытых работ (организация, номер, дата);
- дату проведения испытаний;
- место проведения испытаний;
- климатические условия проведения испытаний (температура, влажность, давление);
- цель испытаний (приемо-сдаточные, для целей сертификации, сличительные, контрольные);
- программу испытаний (объем испытаний в виде перечисления пунктов (разделов) нормативного документа на требования к электроустановке и ее элементному составу).

Примечание - Программа испытаний может быть приведена в приложении к протоколу испытаний;

- нормативный документ, на соответствие требованиям которого проведены испытания (стандарт, правила, нормы и т. п.);
- перечень применяемого испытательного оборудования и средств измерений с указанием наименования и типа испытательного оборудования и средств измерений, диапазона и точности измерений, данных о номере метрологического аттестата или свидетельства и дате последней и очередной аттестации и поверки;
- значения показателей по нормативным документам и допусков при необходимости;
- фактические значения показателей испытанных электроустановок с указанием погрешности измерений при необходимости;
- вывод о соответствии нормативному документу по каждому показателю;
- информацию о дополнительном протоколе испытаний, выполненных на условиях субподряда (при его наличии);-
- заключение о соответствии (или несоответствии) испытанной электроустановки, ее элементов требованиям стандартов или других нормативных документов;
- подписи и должности лиц, ответственных за проведение испытаний и оформление протокола испытаний, включая руководителя испытательной лаборатории;
- печать испытательной лаборатории (или организации);
- указание о недопустимости частичной или полной перепечатки или

размножения без разрешения заказчика (или испытательной лаборатории) (на титульном листе).

На титульном листе указывают, что протокол испытаний распространяется только на электроустановку.

Исправления и дополнения в тексте протокола испытаний после его выпуска не допускаются. При необходимости их оформляют только в виде отдельного документа «Дополнение к протоколу испытаний» (номер, дата) в соответствии с приведенными выше требованиями к протоколу. На конкретные виды испытаний могут оформляться отдельные протоколы, входящие в состав общего протокола испытаний электроустановки здания.

В протоколе испытаний не допускается помещать рекомендации и советы по устранению недостатков или совершенствованию испытанных электроустановок.

Копии протоколов испытаний подлежат хранению в испытательной организации не менее шести лет.

5.6 РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ФОРМЫ ПРОТОКОЛОВ

Испытательная лаборатория электроустановок Заказчик: « »

Зданий (ИЛЭЗ) Объект:

Аттестат аккредитации Адрес: г. Иркутск,

Действителен до « » г. Дата проведения измерений: « » _____ 20__ г.

ПРОТОКОЛ № _____ проверки согласования параметров цепи «фаза – нуль» с характеристиками аппаратов защиты и непрерывности защитных проводников.

Климатические условия при проведении измерений

Температура воздуха _____ °С. Влажность воздуха _____ %. Атмосферное давление _____ кПа

Цель измерений (испытаний) _____

(приёмо-сдаточные, сличительные, эксплуатационные, контрольные испытания, для целей сертификации)

Нормативные и технические документы, на соответствие требованиям которых проведены проверки (испытания): _____

Результаты измерений:

/п	Пров еряемый участок цепи	Место установки аппарата защиты	Аппарат защиты от сверхтока					Измеренное (расчётное) значение тока однофазного замыкания, А			Время срабатывания аппарат а защиты, с		Вывод о соответствии нормативному документу
			Наим енование аппарата защиты, тип, каталожный или серийный номер	Номинальный ток аппарата, А	Тип расцепителя	Номинальный ток расцепителя, А	Диапазон тока срабатывания расцепителя короткого замыкания, А	1	2	3	Допустимое	По время- токовой характеристике, с	
	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	

Измерения проведены приборами:

/п	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики		Дата поверки		№ аттестата (свидетельства)	Орган государственной метрологической службы, проводивший поверку
			Диапазон измерения	Класс точности	последняя	очередная		

Заключение:

Испытания провели:

_____ (должность) (подпись) _____ (Ф.И.О.) _____

_____ (должность) (подпись) _____ (Ф.И.О.) _____

Протокол проверил: _____ (должность) _____ (подпись)
 _____ (Ф.И.О.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В практикуме по проведению электрических измерений параметров на демонстрационных стендах фирмы SONEL:

1. Изложены и проанализированы общие и основные технические характеристики стендов (приборов);

2. Подготовлен необходимый материал и иллюстрации.

3. В практикум включены разделы структурированные по темам; основные термины и определения; контрольные вопросы, список источников.

4. Написаны рекомендации по использованию практикума.

5. Рассмотрены основные виды испытаний и измерений, необходимые при сдаче электроустановки в эксплуатацию и обслуживанию действующих электроустановок:

-измерение сопротивления изоляции электропроводок и кабельных линий;

-измерение сопротивления заземляющих устройств;

-проверка наличия цепи между заземленными установками и элементами заземленной установки;

-проверка цепи «фаза-нуль» в электроустановках до 1000 В с системой TN;

-проверка работы устройств защитного отключения (УЗО);

-проверка действия расцепителей автоматических выключателей;

- измерение параметров петли короткого замыкания и т.п.

Работа выполнена с целью создания дополнительного источника информации и возможности предварительной проверки уровня сформированности знаний студентов в рамках изучения и подготовки к сдаче экзамена (зачета) по электробезопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 2008. - 448 с.
2. Долин М. А. Электробезопасность. Теория и практика [Текст]: учебное пособие / М. А. Долин, В. Т. Медведев, В. В. Корочков, А. Ф. Монахов. – М.: МЭИ, 2012. – 225 с.
3. Зотов Б.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве : учеб. для вузов / Б.И. Зотов, В.И. Курдюмов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2006.
4. Карякин Р.Н. Нормы устройства сетей заземления, изд. 3-е./ Р.Н. Карякин. – М.: Энергосервис, 2002. - 235 с
5. Кисаримов Р.А. Справочник электрика. - М.: КУБК-а, 2007. - 320 с.: ил.
6. Куценко Г. Ф. Практическое пособие по электробезопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cwer.ws/node/82598/> (дата обращения: 5.05.2016).
7. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭЭУ). Приказ от 24.07.2013 г. № 328н [Электронный ресурс] //Министерство труда и социальной защиты РФ. URL <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/161> (дата обращения: 16.12.2014).
8. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий (РД-153-34.0-03.301-00). - М.: Энергетические технологии, 2000г. - 68с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП). - М.: НЦ ЭНАС, 2013 г. - 211 с.
10. Правила устройств электроустановок. –7-е изд. - Спб.: Деан, 2004. - 464 с.
11. Сибикин Ю.Д. Охрана труда и электробезопасность [Текст]: пособие / Ю. Д. Сибикин. – отдельное издание - М.: Радиософт, 2012. - 408 с.
12. СО 153 – 34.21.122 – 2003. Инструкция по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. - М.: Изд-во стандартов, 2003 . - 46с.
13. СО 153-34.03.603-2003. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках.- М.: Изд-во стандартов, 2003 . - 59с.
14. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи. - М.: Изд-во стандартов, 2000 . - 53с
15. ГОСТ 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. - М.: Изд-во стандартов, 2009 . - 9с.
16. ГОСТ Р МЭК 60050-195-2005. Заземление и защита от поражения электрическим током. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 2005. - 18 с.
18. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим

током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи. - М.: Изд-во стандартов, 2000. - 23с

19. ГОСТ Р 51853-2001 Заземления переносные для электроустановок. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 2009. - 11 с.

20. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. - М.: Изд-во стандартов, 1982. - 07 с.

21. ГОСТ Р МЭК 60050-826-2009. Установки электрические. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 2009. - 23с.

22. ГОСТ Р 50571.3-2009. Электроустановки низковольтные. Ч. 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током. - М.: Изд-во стандартов, 2009. - 24с.

23. ГОСТ Р 50571.7.717-2011. Электроустановки низковольтные. Требования к специальным установкам или местам их расположения. Мобильные или транспортируемые модули. - М.: Изд-во стандартов, 2009. 32с.

24. Профессиональные электроизмерительные приборы SONEL. Режим доступа: <http://www.sonel.ru/>.

Учебное издание

Иванов
Дмитрий Александрович
Лукина
Галина Владимировна,
Подъячих
Сергей Валерьевич

Федоринова
Эльвира Сергеевна

Якупова
Марина Андреевна

**Практикум по проведению измерений электрических
параметров электроустановок на демонстрационных стендах
фирмы SONEL**

Молодежный 2021