

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

А.Д. Чернова, А. А. Веремеев, С.В. Митрофанов

# **ОСНОВЫ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Практикум

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Оренбург  
2019

УДК 621.313(075.8)

ББК 31.261 я73

Ч49

Рецензент – доцент, кандидат технических наук В.М. Нелюбов

**Чернова, А.Д.**  
Ч49 Эксплуатационный контроль и техническая диагностика электрооборудования [Электронный ресурс] : практикум / А.Д. Чернова, А.А. Веремеев, С.В. Митрофанов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 121 с.  
ISBN 978-5-7410-2415-7

Практикум содержит теоретические сведения и методику выполнения лабораторных работ по дисциплине «Эксплуатационный контроль и техническая диагностика электрооборудования» для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

УДК 621.313(075.8)

ББК 31.261 я73

© Чернова А.Д.,  
Веремеев А.А.,  
Митрофанов С.В., 2019

© ОГУ, 2019

ISBN 978-5-7410-2415-7

## Содержание

Введение.....	6
1 Лабораторная работа №1. Инфракрасная диагностика электрооборудования .....	7
1.1 Общие теоретические положения .....	7
1.2 Тепловизоры.....	8
1.2.1 Принцип работы и конструкция тепловизора .....	9
1.1.1 Требования к прибору.....	13
1.2 Пирометры.....	14
1.3 Методика проведения тепловизионного контроля .....	17
1.3.1 Общие указания при проведении тепловизионного контроля .....	17
1.4 Факторы, влияющие на результат инфракрасной диагностики.....	18
1.4.1 Влияние излучательной способности .....	19
1.4.2 Солнечное излучение .....	20
1.4.3 Ветер .....	21
1.4.4 Нагрузка .....	21
1.4.5 Тепловая инерция .....	22
1.4.6 Дождь и снег .....	22
1.4.7 Магнитные поля .....	22
1.4.8 Тепловое отражение.....	23
1.4.9 Нагрев индукционными токами .....	23
1.5 Периодичность проведения тепловизионного контроля.....	24
1.6 Оценка результатов тепловизионного контроля .....	25
1.7 Ход выполнения работы .....	30
1.8 Вопросы для самоподготовки.....	30
2 Лабораторная работа №2. Измерение сопротивления изоляции кабеля... 31	
2.1 Основные сведения.....	31
2.2 Показатели качества изоляции .....	39
2.3 Оценка измерений.....	42
2.4 Описание прибора.....	44

2.5	Производство измерений: .....	51
2.5.1	Измерения напряжения.....	51
2.5.2	Измерение сопротивления изоляции.....	52
2.6	Ход выполнения работы: .....	56
2.7	Вопросы для самоподготовки: .....	57
3	Лабораторная работа № 3. Измерение параметров устройства защитного отключения .....	58
3.1	Общие теоретические положения .....	58
3.2	Правила безопасной работы с цифровым тестером УЗО UT581 .....	61
3.3	Особенности прибора.....	63
3.4	Технические характеристики .....	64
3.5	Внешний вид прибора и принадлежностей .....	65
3.6	Выполнение измерений.....	66
3.7	Ход выполнения работы .....	68
3.8	Вопросы для самоподготовки.....	69
4	Лабораторная работа № 4 Измерение параметров сопротивления заземления.....	69
4.1	Основные сведения.....	69
4.2	Устройство заземления .....	71
4.3	Периодичность измерения .....	74
4.4	Проверка состояния заземляющего устройства .....	75
4.4.1	Визуальная проверка заземляющего устройства .....	75
4.4.2	Проверка контактных соединений и металlosвязей оборудования с заземляющим устройством .....	76
4.4.3	Оценка коррозионного состояния .....	77
4.5	Условия проведения измерений.....	78
4.5.1	Измерение сопротивления заземления при помощи прибора 1820 ER. 78	
4.5.2	Обработка и вычисление результатов измерений. ....	82
4.6	Вопросы для самоподготовки: .....	84
5	Лабораторная работа № 6 Измерение петли фаза-ноль.....	85
5.1	Основные сведения.....	85

5.2	Критерии соответствия нормам электробезопасности .....	91
5.3	Описание прибора MZC-300 .....	93
5.4	Практическая часть.....	95
5.4.1	Внешний осмотр .....	95
5.4.2	Измерение петли фаза-ноль.....	95
5.4.3	Особенности измерения.....	96
5.5	Оформление результатов измерений, оценка и рекомендации .....	101
5.6	Вопросы для самоподготовки: .....	105
	Список использованных источников .....	106
	Приложение А Технические характеристики MZC-300 .....	109
	Приложение Б Выписка из ПТЭЭП и ПУЭ-7.....	112
	Приложение В Допустимы температуры нагрева .....	114
	Приложение Г Протокол обследования и измерения параметров ЗУ .....	119

## Введение

Процесс проектирования и в дальнейшем эксплуатации электрооборудования сопряжен с решением производственных вопросов, связанных с правильным выбором типов оборудования и подбора его технологических параметров. Грамотно выбранное оборудование будет являться залогом долгого и бесперебойного функционирования электрических машин, электроэнергетических систем и систем электроснабжения.

В реальных случаях при эксплуатации силового электрооборудования возникают нештатные ситуации, которые могут быть вызваны множеством факторов, которые в различной степени оказывают влияние на работоспособность оборудования. Таким образом, даже в схожих случаях по рабочим параметрам или продолжительности эксплуатации даже в случае идентичных объектов возможны различные степени износа.

Правила эксплуатации, сроки использования и работоспособности указываются в соответствующей технической документации (например: ПУЭ, различные документы МЭК, РД, СНИПы, ГОСТы и прочее). Для поддержания заданных номинальных параметров электрических машин, с целью обеспечения нормальной работы оборудования, возникает необходимость в организации системы эксплуатационного контроля и технической диагностики электрооборудования. Она включает в себя ряд проверок, технических осмотров, передовых способов диагностирования работоспособности технологических объектов различного рода и многое другое. Эта система позволяет сделать вывод о наличии дефекта, его месте нахождения и причины возникновения, с последующими рекомендациями по дальнейшей эксплуатации исследуемого технологического объекта.

# **1 Лабораторная работа №1. Инфракрасная диагностика электрооборудования**

Цель работы: Изучить принцип работы тепловизора и пирометра, методику инфракрасной диагностики электрооборудования и воздушных линий, научиться анализировать полученные данные.

## **1.1 Общие теоретические положения**

Внедрение приборов инфракрасной техники (ИКТ) в энергетику является одним из основных направлений развития высокоэффективной системы технической диагностики, которая обеспечивает возможность контроля теплового состояния электрооборудования и электроустановок без вывода их из работы, выявления дефектов на ранней стадии их развития, сокращения затрат на техническое обслуживание за счет прогнозирования сроков и объемов ремонтных работ.

Основные руководящие документы:

РД 153-34.0-20.363-99 Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ

РД 34.45-51.300-97 Объем и нормы испытаний электрооборудования.

ГОСТ 25314-82 Контроль неразрушающий тепловой. Термины и определения

ГОСТ Р 54852-2011. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций

## 1.2 Тепловизоры

*Тепловизионный контроль* – это неразрушающий контроль, основанный на бесконтактном измерении теплового излучения и регистрации температурных полей на поверхности ограждающих конструкций.

*Тепловизор* – это прибор или совокупность приборов, предназначенных для преобразования теплового изображения объекта в видимое.

*Тепловое изображение* - изображение объекта контроля, создаваемое за счет различий в радиационной температуре различных участков объекта.

*Термограмма* - это тепловое изображение, записанное в аналоговом или цифровом виде в память тепловизора или на цифровой носитель.

Можно выделить два типа тепловизоров: наблюдательные и измерительные. Наблюдательные тепловизоры могут показать лишь распределение градиента температуры на исследуемом объекте. Измерительные тепловизоры по своему функционалу шире. Они могут определить значение температуры в конкретной точке исследуемого объекта в пределах точности коэффициента излучения материала исследуемого объекта. Измерительные тепловизоры для поддержания заданной точности необходимо периодически калибровать. Для этих целей такие тепловизоры снабжены калибровочным устройством матрицы, как правило оно выполняется в виде шторки, у которой может быть достаточно точно определена температура. Шторка с определенным интервалом времени заходит на матрицу, тем самым представляя возможность для калибровки матрицы по температуре шторки.

Длинноволновые тепловизоры представляют собой устройства с чувствительностью инфракрасного излучения в пределах длин волн от 8 до 15 мкм. Средневолновые тепловизоры представляют собой устройства с чувствительностью инфракрасного излучения в пределах длин волн от 2,5 до 6 мкм.

На сегодняшний день достаточно широко нашли применение системы тепловизионного мониторинга длинноволновых и средневолновых систем, в

которых реализована функция совмещения изображений и точным температурным измерением (высокой чувствительностью) около 0,05 °С.

Современные тепловизоры в большинстве случаев оснащены специализированным программным обеспечением для облегчения расчетов оператора и подготовки отчетов.

### 1.2.1 Принцип работы и конструкция тепловизора

«Исторически первые тепловизионные датчики для получения изображений были электронно-вакуумными. На смену электронно-вакуумным приборам пришли твердотельные. Первые твердотельные датчики были одноэлементными, поэтому для получения двумерного изображения их оснащали электромеханической оптической развёрткой. Такие тепловизоры называются сканирующими. В них система из движущихся зеркал последовательно проецирует на датчик излучение от каждой точки наблюдаемого пространства. Датчик может быть одноэлементным, линейкой чувствительных элементов или небольшой матрицей. Для увеличения чувствительности и снижения инерционности датчики сканирующих тепловизоров охлаждают до криогенных температур. Лучшие охлаждаемые датчики способны реагировать на единичные фотоны и имеют время реакции менее микросекунды» [5].

В своем составе тепловизоры различных модификаций имеют повторяющиеся конструктивные элементы, которые являются общими для всех: дисплей прибора, приемник излучения, специализированное ПО для обработки полученных данных, накопители данных (флеш-карты) и прочее. Набор этих элементов зависит от вида и типа тепловизора.

Современные тепловизоры (рисунок 1.1), как правило, строятся на основе специальных матричных датчиков температуры — болометров. Принцип действия болометра основан на изменении электрического сопротивления термочувствительного элемента вследствие нагревания под воздействием поглощаемого потока электромагнитной энергии. Основной

компонент болометра — очень тонкая пластинка (например, из платины или другого проводящего материала), зачернённая для лучшего поглощения излучения. Из-за своей малой толщины пластинка под действием излучения быстро нагревается и её сопротивление повышается. Для измерения малых отклонений сопротивления пластинки её включают в мостовую схему, которую балансируют при отсутствии засветки. Металлические болометры часто подсоединяют через трансформаторный вход, так как у них очень малое собственное сопротивление.



Рисунок 1.1 - Testo 875

«Таким образом, инфракрасное излучение, собранное и сфокусированное на матрице объективом тепловизора, нагревает элементы

матрицы в соответствии с распределением температуры наблюдаемого объекта и выдает сигнал, обычно в виде изменения напряжения или электрического сопротивления. Полученный сигнал регистрируется электроникой тепловизионной системы и преобразуется в термограмму, которая отображается на жидкокристаллическом дисплее (ЖКД), расположенном на тепловизоре. Дисплей должен иметь большой размер и высокую яркость, чтобы изображение на нем можно было легко увидеть в различных условиях освещенности. На дисплее отображается дополнительная информация: дата, время, температура объекта (в °F, °C, или K), видимое изображение и цветовая шкала температур» [5].

Типичные матричные приемники излучения современных тепловизоров имеют размеры от 16x16 до 640x480 пикселей. Пространственное разрешение коммерчески доступных болометрических матриц достигает 1280x720 точек. Коммерческие болометры обычно делают неохлаждаемыми для уменьшения цены и размеров оборудования.

Пиксель является самым маленьким элементом матричного приемника излучения, который может улавливать инфракрасное излучение.

Первое число представляет собой количество вертикальных колонок, а второе – количество горизонтальных линий, отображаемых на дисплее. Например, матрица размером 160x120 элементов в сумме имеет 19200 пикселей.

Поскольку обычное оптическое стекло непрозрачно в среднем ИК диапазоне, оптику тепловизоров делают из специальных материалов. Чаще всего это германий, но он дорог, поэтому иногда используют халькогенидное стекло, селенид цинка или даже полиэтилен. Пропускание объективов улучшается за счет тонкопленочных просветляющих покрытий. В лабораторных целях оптику также можно делать из некоторых солей, например поваренной соли, также прозрачной в требуемом диапазоне длин волн.

С целью улучшения отображаемой картинки теплового режима объекта, необходимо выполнить соответствующую настройку прибора, используя кнопки органов управления. На цифровом дисплее возможна настройка необходимого диапазона температур, изменение цветовой схемы изображения, тепловой уровень и другие. Имеется возможность установки коэффициента излучения и отраженной фоновой температуры.

Таблица 1.1 – Кнопки управления Testo 875

	Включение и отключение тепловизора
[OK] и Джойстик	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нажатие [OK]: Открытие меню, подтверждение выбора/настройки.</li> <li>Перемещение [OK] вверх/вниз/вправо/влево = функция</li> <li>• Джойстик: Выбор функций, навигация</li> </ul>
[Esc]	Отмена действия.
Влево/вправо ["ху"] Кнопка быстрого выбора	Вызов функции. Кнопка быстрого доступа, предназначенная для вызова функции, постоянно показана на дисплее.

Файлы, содержащие тепловые изображения и дополнительные данные, сохраняются на различных типах электронных карт памяти или устройств хранения и передачи данных. Инфракрасные тепловизионные системы позволяют сохранять дополнительные голосовые и текстовые данные, а также соответствующее видимое изображение, полученное с помощью встроенной камеры, работающей в видимом спектре.

Программное обеспечение, которое используется в современных тепловизионных системах, является многофункциональным и удобным для пользователя.

Цифровые тепловые и видимые изображения импортируются на персональный компьютер, где их можно просмотреть с использованием

различных цветовых палитр, произвести другие настройки всех радиометрических параметров, а также воспользоваться функциями анализа. Обработанные изображения можно вставить в шаблоны отчетов и либо отправить на принтер, либо сохранить в электронном виде, или отправить по различным каналам заказчику.

Для переноски и хранения тепловизор помещают в футляр, в котором переносят также вспомогательное оборудование для использования в полевых условиях и средства программного обеспечения.

### 1.1.1 Требования к прибору

Чувствительность (разрешающая способность по температуре) должна быть  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  и лучше при температуре  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Верхний предел температурного диапазона должен быть не менее  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , нижний -  $2(5)\text{ }^{\circ}\text{C}$  с разбивкой диапазона на 5-7 интервалов.

Тепловизор должен обладать функцией автоматической компенсации температуры окружающей среды, удаленности объекта, коэффициента излучения объекта.

Работа прибора должна быть возможна в пределах следующих температур: от  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Способность тепловизора в рабочем состоянии воспринимать удары и толчки (в рабочем состоянии до  $15G$ , а нерабочем –  $40G$ ), а также вибрационное воздействие (в рабочем состоянии до  $1G$ , в нерабочем - до  $2G$ ).

Спектральный диапазон. При ИК-диагностике на открытом воздухе основным источником погрешности могут являться прямая и отраженная солнечная радиация, а также рассеянное излучение и излучение источников искусственного освещения. В помещении такими источниками являются рассеянный и отраженный свет от окружающих объектов и светильников.

Влияние отраженного света тем больше, чем меньше излучательная способность объекта. В ряде зарубежных публикаций было отмечено, что длинноволновые (8-12 мкм) тепловизионные системы предпочтительнее для

диагностики электрооборудования ОРУ и ВЛ. Хотя солнечная радиация присутствует в обоих диапазонах, ее количество значительно различается и имеет наибольшее влияние на результаты диагностики в коротковолновом диапазоне (2-5 мкм).

Охлаждение приемников излучения. Метод охлаждения детектора тепловизора может влиять на его характеристики, особенно если он используется вне помещения.

Чтобы повысить обнаружительную способность тепловизора, необходимо "заглушить" собственное излучение детектора и примыкающих к нему элементов.

Это достигается охлаждением детектора до температур, при которых фоновый шум собственного излучения становится ничтожно малым.

В тепловизорах нашли применение три способа охлаждения:

- сжиженным газом (преимущественно азотом);
- криогенными машинами;
- за счет термоэлектрического эффекта.

Наиболее простым является охлаждение жидким азотом.

## **1.2 Пирометры**

Пирометр – это средство (совокупность средств) измерений температуры по тепловому электромагнитному излучению, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем (рисунок 1.2). Конструктивно пирометр может представлять собой совокупность пирометрического преобразователя и устройства отображения информации в аналоговой или цифровой форме.



Рисунок 1.2 – Внешний вид пирометров

По принципу действия пирометры подразделяют на:

*пирометр частичного излучения* - это пирометр, действие которого основано на использовании зависимости энергетической яркости излучателя от температуры в ограниченном интервале длин волн.

*пирометр полного излучения* – это пирометр, действие которого основано на использовании зависимости интегральной энергетической яркости излучателя от температуры, описываемой для "абсолютно черного тела" с достаточным приближением закона Стефана-Больцмана.

*пирометр спектрального отношения* - это пирометр, действие которого основано на зависимости отношений энергетических яркостей в двух или нескольких спектральных интервалах от температуры тела.

Производство пирометров различного конструктивного исполнения и назначения освоено многими предприятиями России. По техническим параметрам отечественные пирометры не уступают лучшим зарубежным образцам.

Выбор при покупке типа пирометра зависит прежде всего от возможной области его применения и связанных с этим факторов.

При измерения температуры КС с помощью пирометра необходимо учитывать угол визирования, который он обеспечивает.

Так, для дистанционного контроля контактных соединений (КС) токоведущих частей и электрооборудования могут применяться пирометры с широким и малым углом визирования (рисунок 1.3). В первом случае, при угле визирования 1:60 пирометры могут применяться в электроустановках 0,4-20 кВ. Пирометры с малым углом визирования (1:200, 1:300) целесообразно в ряде случаев использовать при контроле КС (контактных соединений) в ОРУ 110-220 кВ в сочетании с тепловизором.

В тех случаях, когда контролируемое КС находится на удаленном расстоянии или размеры его малы, может возникнуть ситуация, при которой в зону измерения наряду с контролируемым объектом попадет участок окружающей его внешней среды (воздух и т.д.) с иной температурой.

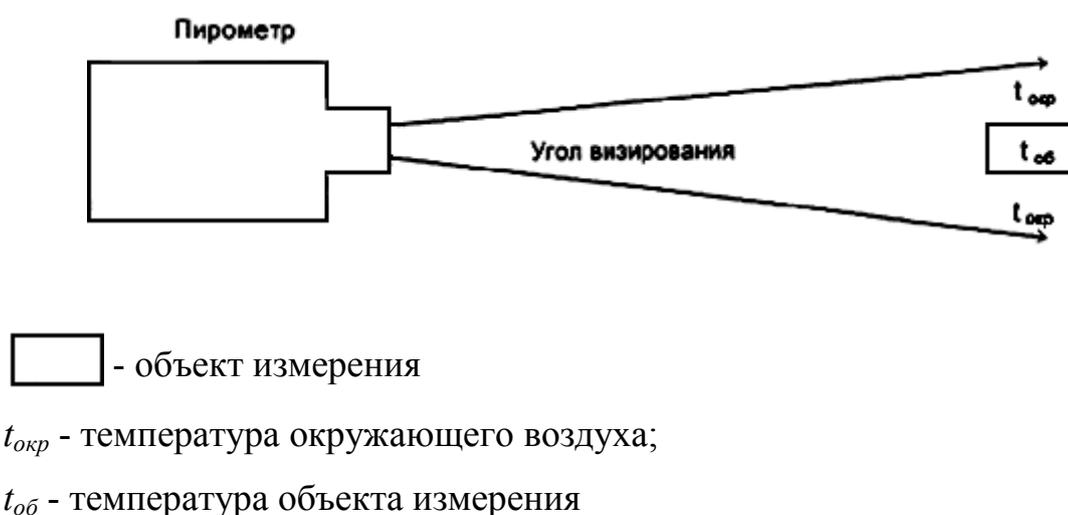


Рисунок 1.3 – Угол визирования пирометра

Температура внешней среды в этом случае может внести существенную погрешность в результаты показания пирометра, особенно если измерение температуры контролируемого объекта осуществляется на фоне неба, температура которого в зависимости от его состояния (облачность, ясное небо) может достигать минус 50 °С -70 °С.

### **1.3 Методика проведения тепловизионного контроля**

#### **1.3.1 Общие указания при проведении тепловизионного контроля**

Тепловизионную диагностику предпочтительнее проводить в погуду с низкой солнечной активностью (наличие облаков или ночное время суток), при низкой ветровой активности и максимальных токовых нагрузках, по сезонам предпочтительнее выбирать межсезонье (весна и осень), так как в эти периоды, как правило уточняется объем ремонтных работ и происходит оценка эксплуатационного состояния оборудования перед зимним периодом токовых нагрузок.

В случае необходимости срочного проведения тепловизионной съемки электрооборудования, необходимо выполнить ТК для каждого объекта с диаметрально противоположных точек.

Во время проведения тепловизионного контроля электротехнических объектов могут возникать погрешности двух видов: систематические и случайные, которые вносят неточности в результаты измерений.

Систематические погрешности заключены в конструкции измерительного прибора, а также зависят от его выбора в соответствии с требованиями к совершенству измерения (разрешающей способности, поля зрения и т.п.).

Случайными погрешностями, возникающими при проведении контроля, могут являться: воздействие солнечной радиации, выбор излучательной способности и др.

При подготовке к ТК должен быть проведен следующий подготовительный объем работ:

- изучена документация по контролируемому объекту;
- составлен оптимальный план обследования электрооборудования РУ с фиксированием нагрузок и перечнем оборудования, которое находится в неработающем состоянии;
- намечены точки на ОРУ (ЗРУ) для обязательной термографической съемки с регистрацией в ПК (тепловизоре): измерительные трансформаторы тока и напряжения 35 кВ и выше, разрядники 35 кВ и выше, ОПН, выключатели всех типов 35 кВ и выше, дроссели и конденсаторы ВЧ связи, силовые трансформаторы (контрольные кадры вводов, ТСФ, расширителя, системы охлаждения);
- проверена работоспособность средств тепловизионного контроля;
- выполнен инструктаж по ТБ оператора-тепловизионщика.

В набор приборов оператора, осуществляющего ИК-диагностику, должны входить:

- тепловизор (пирометр);
- анемометр ручной с диапазоном измерения до 10 м/с;
- электронный термометр с ценой деления 0,1 °С;
- бинокль (подзорная труба) - для визуального осмотра узла, забракованного при ИК-диагностике.

#### **1.4 Факторы, влияющие на результат инфракрасной диагностики**

При проведении ИК-контроля должны учитываться следующие факторы:

- коэффициент теплового излучения материала;

- солнечная радиация;
- скорость ветра;
- расстояние до объекта;
- значение токовой нагрузки;
- тепловое отражение и т.п.

#### 1.4.1 Влияние излучательной способности

Коэффициент теплового излучения (КТИ) - отношение мощности излучения объекта при данной температуре к мощности излучения абсолютно черного тела. КТИ в общем виде зависит от длины волны, угла наблюдения поверхности контролируемого объекта и температуры.

КТИ металлов увеличивается с ростом температуры, однако изменяется в незначительных пределах в отличие от газообразных или жидких веществ.

Существуют следующие замечания:

- рекомендуется проводить бесконтактные измерения температуры при значении коэффициента теплового излучения более 0.7;
- при значении коэффициента теплового излучения в пределах от 0.3 до 0.7 проводить бесконтактные измерения температуры допускается, но не рекомендуется;
- при значении коэффициента теплового излучения менее 0.3 результаты не могут быть признаны достоверными из-за того, что уровень сигнала от объекта очень слабый и от поверхности отражается много паразитного излучения.

Проблема верного выбора значения коэффициента теплового излучения является очень важной, так как от этого в огромной степени зависит реальная точность измерения температуры бесконтактным методом.

«Поскольку токоведущий узел электрического аппарата или установки может включать в себя несколько компонентов из разнородных металлов, поверхности которых окрашены, имеют окисные пленки или разную степень

обработки поверхности, т.е. различные коэффициенты излучения, при инфракрасном контроле могут возникнуть предположения о перегревах на участках с повышенными коэффициентами излучения» [5].

В подобных случаях целесообразно провести пофазное сравнение результатов измерения.

В том случае, если коэффициент излучения контролируемого объекта известен, его фактическая температура может быть определена по формуле:

$$T_{\text{факт}} = \frac{T_{\text{рад}}}{\sqrt[4]{E}}, \quad (1.1)$$

где  $T_{\text{рад}}$  - радиационная температура, измеренная ИК-прибором;

$E$  - коэффициент излучения контролируемой поверхности.

#### 1.4.2 Солнечное излучение

Из-за солнечной радиации, которая нагревает исследуемый объект и наличия областей с высокой отражательной способностью, может сложиться впечатление, что объект испытывает воздействие высоких температур.

Такие случаи особенно характерны для приборов инфракрасного типа со спектральным диапазоном 2-5 мкм.

С целью исключения этого явления необходимо проводить исследование объекта в ночное время суток или в погоду с низкой солнечной активностью (например, наличие облаков). При необходимости немедленной съемки объекта, рекомендуется выполнять измерения поочередно с противоположных диаметрально расположенных точек исследуемого объекта.

### 1.4.3 Ветер

«Если ИК-контроль осуществляется на открытом воздухе, необходимо принимать во внимание возможность охлаждения ветром контролируемого объекта (контактного соединения)» [5]. Например, увеличение температуры, которое было получено при скорости ветра 5 м/с, имеет величину в 2 раза меньше, по сравнению с тем же измеренным при скорости ветра 1 м/с. В диапазоне скоростей 1-7 м/с справедлива формула:

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \left| \frac{V_1}{V_2} \right|^{0,448}, \quad (1.2)$$

где  $\Delta T_1$  - превышение температуры при скорости ветра  $V_1$ ;

$\Delta T_2$  - то же при скорости ветра  $V_2$ .

Измерения при скорости ветра выше 8 м/с рекомендуется не проводить.

### 1.4.4 Нагрузка

Температура токоведущего узла (контактного соединения) зависит от нагрузки и прямо пропорциональна квадрату тока, проходящего через контролируемый участок:

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \left| \frac{I_1}{I_2} \right|^2, \quad (1.3)$$

где  $\Delta T_1$  - превышение температуры при токе  $I_1$ ;

$\Delta T_2$  - то же при токе  $I_2$ .

При необходимости пересчет желательно проводить от более высокой нагрузки к более низкой и при близких значениях токов (отличия на 20-30%).

#### 1.4.5 Тепловая инерция

При переменной токовой нагрузке приходится считаться с тепловой инерцией контролируемого объекта.

Так, тепловая постоянная времени для контактных узлов аппаратов составляет порядка 20-30 мин, поэтому при определении тока нагрузки по амперметру контролируемого присоединения не следует учитывать кратковременные "броски" тока, связанные с коммутационными процессами или режимом работы потребителя. Тепловая постоянная для вентильных разрядников составляет порядка 6-8 ч, поэтому результаты измерения тепловизором только что поставленного под напряжение разрядника могут оказаться ошибочными.

#### 1.4.6 Дождь и снег

Дождь, туман, мокрый снег в значительной степени охлаждают поверхность объекта, измеряемого с помощью ИК-прибора, и в определенной мере рассеивают инфракрасное излучение каплями воды; ИК-контроль допускается проводить при небольшом снегопаде с сухим снегом или легком морозящем дожде.

#### 1.4.7 Магнитные поля

Во время работы с инфракрасными приборами вблизи с электроустановками с высокими уровнями электромагнитного излучения, создаваемыми большими значениями рабочих токов, необходимо учесть защиту прибора от влияния магнитного поля.

Поле может вносить искажение в результаты построения тепловой картины поля на кинескопе устройства или внесет погрешность в работе радиационного пирометра. В случае неблагоприятной электромагнитной обстановке рекомендуется:

а) в случае расположения шин над головой оператора, проводящего тепловизионное обследование, определить место с минимальными показателями искажения по ЭМС;

б) при работе отдать предпочтение объективу с минимальным углом наблюдения (например,  $7 \times 7^\circ$ ), это даст возможность провести исследование на расстояние от объекта;

в) при контроле с помощью тепловизора с оптико-механическим сканированием можно сканер расположить вблизи объекта, ВКУ с кинескопом, используя длинный кабель от сканера, вынести за пределы зоны влияния магнитного поля.

#### 1.4.8 Тепловое отражение

В ряде случаев, особенно при ИК-контроле токоведущих частей, расположенных в небольших замкнутых объемах (например, в КРУ или КРУН), приходится сталкиваться с возможностью получения ошибочных результатов из-за теплового отражения от нагревательных элементов, ламп освещения, соседних фаз и др.

Последнее проявляется при контроле токоведущей части с малым коэффициентом излучения, обладающей хорошей отражательной способностью.

В результате термографическая съемка может показать горячую точку (пятно), хотя в действительности это просто тепловое отражение.

Поэтому рекомендуется в подобных случаях производить ИК-обследование объекта под различными углами зрения и изменением местоположения оператора с ИК-прибором. При необходимости на время измерения отключается освещение объекта и т.п.

#### 1.4.9 Нагрев индукционными токами

В токоведущих частях электроустановок, обтекаемых значительными токами (например, шины генераторного напряжения), зачастую наблюдаются

нагревы, обусловленные индукционными токами, циркулирующими в магнитных материалах. В качестве последних в токоведущих шинах могут быть пластины шинодержателей, крепежные болты, близко расположенные металлоконструкции и т.п. Нагревы от индукционных токов, если они расположены вблизи контактных соединений, могут создавать ложное впечатление о перегреве последних.

## **1.5 Периодичность проведения тепловизионного контроля**

Принимается следующая периодичность тепловизионного контроля электрооборудования.

Электрооборудование:

Электрооборудование распределительных устройств:

- а) на напряжение 330-750 кВ - ежегодно;
- б) на напряжение 110-220 кВ - один раз в два года;
- в) на напряжение 35 кВ и ниже - один раз в три года;
- г) при усиленном загрязнении электрооборудования РУ всех напряжений - ежегодно;
- д) контактных соединений высокочастотных заградителей, не имеющих специальных устройств, разгружающих шлейф от воздействия ветровых нагрузок - ежегодно;
- е) внеочередной ИК-контроль электрооборудования РУ всех напряжений проводится после стихийных воздействий (значительные ветровые нагрузки, КЗ на шинах РУ, землетрясения, сильный гололед и т.п.).

Воздушные линии электропередачи (ВЛ):

- ВЛ вновь вводимые в эксплуатацию – в первый год ввода их в эксплуатацию;
- ВЛ, находящиеся в эксплуатации 25 лет и более, при отбраковке более 5% контактных соединений – ежегодно;

- ВЛ, находящиеся в эксплуатации 25 лет и более, при отбраковке менее 5% контактных соединений – 1 раз в 2 года;

- ВЛ, работающие с предельными токовыми нагрузками, или питающие ответственных потребителей, или работающие в условиях повышенной загрязненности атмосферы, больших ветровых и гололедных нагрузок – ежегодно;

- остальные ВЛ – 1 раз в 6 лет.

## **1.6 Оценка результатов тепловизионного контроля**

Оценка теплового состояния электрооборудования и токоведущих частей в зависимости от условий их работы и конструкции осуществляется по нормированным значениям температуры нагрева (значениям превышения температуры), избыточной температуре, коэффициенту дефектности, динамике изменения температуры во времени с изменением нагрузки, путем сравнения измеренных значений температуры в пределах фазы, между фазами, с заведомо исправными участками и т.п.

Предельные значения температуры нагрева электрооборудования и токоведущих частей РУ приведены в таблице в приложении В.

Следует учесть, что:

Превышение температуры - разность между измеренной температурой нагрева и значением температуры окружающего воздуха.

В приложении В наибольшие допустимые значения превышения температуры нагрева, регламентируемые стандартами, при значении эффективной температуры окружающего воздуха, принимаемом равным 40 °С.

Избыточная температура - превышение измеренной температуры контролируемого узла одной фазы над температурой аналогичных узлов других фаз (с наименьшей температурой нагрева) или заведомо исправного узла.

Коэффициент дефектности - отношение измеренного значения превышения температуры нагрева контактного соединения к значению превышения температуры, измеренной на целом участке шины (провода), отстоящем от контактного соединения на расстоянии не менее 1 м.

Контакт - токоведущая часть аппарата, которая во время операции размыкает и замыкает цепь или в случае скользящих или шарнирных контактов сохраняет непрерывность цепи.

Контактное соединение (КС)- токоведущее соединение (болтовое, сварное, паяное, выполненное методом обжатия), обеспечивающее непрерывность токовой цепи.

При классификации выявленного при ИК-контроле дефекта по степени его опасности необходимо учитывать:

значение токовой нагрузки и ее стабильность, возможные максимальные и минимальные пределы нагрузки в процессе работы электрооборудования, местоположение дефекта (внутри электрооборудования или снаружи), значение измеренной температуры нагрева контролируемых узлов фаз, вид контролируемого узла и его конструктивное исполнение.

ТК желательно проводить при максимальной токовой нагрузке, контроль при нагрузке  $0,3I_{ном}$  и ниже не обеспечивает выявление дефекта на ранней стадии его развития.

Оценку теплового состояния контактов и болтовых КС, находящихся в среде окружающего воздуха, при токах нагрузки  $(0,6-1,0) I_{ном}$  следует проводить по значению превышения температуры нагрева с проведением при необходимости соответствующего пересчета:

$$\frac{\Delta T_{ном}}{\Delta T_{раб}} = \left| \frac{I_{ном}}{I_{раб}} \right|^2, \quad (1.4)$$

где  $\Delta T_{ном}$  - нормированное (Приложение А) значение превышения температуры при номинальной нагрузке  $I_{ном}$ ;

$\Delta T_{раб}$  - значение превышения температуры при измерении при токе  $I_{раб}$ .

Классификация выявленного дефекта по значению превышения температуры в этом случае осуществляется исходя из следующих соображений (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Классификация выявленного дефекта по значению превышения температуры

Степень неисправности	Значение превышения температуры, °С, при номинальной нагрузке	Классификация дефекта
1	10-20	Начальная степень развития дефекта, которую следует держать под контролем
2	20-40	Развившийся дефект. Необходим учащенный контроль оборудования. Устранение дефекта при первой возможности.
3	$\geq 40$	Аварийный дефект. Требуется немедленного устранения

В тех случаях, когда токовая нагрузка находится в пределах (0,3-0,6)  $I_{ном}$ , во избежание существенных ошибок при пересчете измеренного значения температуры к нормированному, рекомендуется оценку теплового состояния контактов и болтовых КС проводить по избыточной температуре с использованием в качестве норматива температуры, соответствующей 0,5  $I_{ном}$ .

$$\frac{\Delta T_{0,5}}{\Delta T_{раб}} = \left| \frac{0,5 \cdot I_{ном}}{I_{раб}} \right|^2, \quad (1.5)$$

где  $\Delta T_{0,5}$  - избыточная температура при токе нагрузки  $0,5 I_{ном}$ .

Предельное значение избыточной температуры ( $\Delta T_{0,5}$ ) при токе нагрузки  $0,5 I_{ном}$  составляет  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta T_{раб}$  - избыточная температура при токе нагрузки, отличном от  $0,5 I_{ном}$ .

При оценке теплового состояния контактов и болтовых КС по избыточной температуре различают следующие области неисправности (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Оценка теплового состояния контактов и болтовых соединений

Степень неисправности	Значения избыточной температуры, $^{\circ}\text{C}$ , при токе нагрузки $0,5 I_{ном}$	Рекомендация
1	5-10	Обнаруженную неисправность следует держать под контролем, предусмотренным графиком
2	10-30	Учащенный контроль, один раз в месяц
3	$\geq 30$	Аварийный дефект, требующий немедленного устранения

Оценку теплового состояния сварных КС, а также КС, выполненных методом обжатия, рекомендуется производить по значению избыточной температуры или коэффициенту дефектности.

При оценке теплового состояния КС по коэффициенту дефектности различают степени неисправности:

- коэффициент не более 1,2.

Начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем;

- коэффициент дефектности 1,2-1,5.

Развившийся дефект. Принять меры к устранению неисправности при ближайшем выводе электрооборудования из работы;

- коэффициент дефектности  $> 1,5$ .

Аварийный дефект. Требуется немедленного устранения.

Оценка теплового состояния электрооборудования (силовые и измерительные трансформаторы, маслонеполненные аппараты и др.), а также контакты и КС, находящиеся в объеме масла или газа, изолированном от окружающего воздуха металлическими или изоляционными материалами, производится косвенным способом. В этом случае возможность непосредственного измерения температуры нагрева контролируемого узла с помощью тепловизора или иным способом, по существу, исключена.

Суждение о тепловом состоянии контролируемого объекта осуществляется путем выявления температурных аномалий на поверхности его бака или крышки, измерения значений температуры и анализа характера ее распределения, сопоставления мест нагрева с аналогичными участками фазы или других фаз, анализа причин возникновения температурной аномалии с учетом конструктивных особенностей электрооборудования и токоведущих частей.

Браковка по одному показателю тепловизионного контроля осуществляется применительно к внешним контактам аппаратов и контактными соединениям ошиновки РУ и проводов ВЛ, а также вентиляльным разрядникам и ОПН, если на этот счет отсутствуют указания завода-изготовителя.

При получении браковочных результатов ТК маслонеполненного оборудования и аппаратов, производятся дополнительные испытания (измерения) последних. Например, хроматографический анализ состава газов в масле, измерение сопротивления контактов постоянному току, измерение тока холостого хода, диэлектрических потерь, пробивного напряжения масла и т.д.

Дефекты, выявленные при ТК и носящие аварийный характер, должны фиксироваться оператором на подстанциях с постоянным дежурством в журнале дефектов и неполадок оборудования. Информация о выявленных аварийных дефектах на объектах без постоянного дежурства, должна доводиться оператором до сведения дежурного диспетчера. Дополнительно, информация об аварийных дефектах сообщается руководителю службы, ответственной за проведение контроля.

Оборудование, имеющее аварийные дефекты, должно в кратчайшие сроки быть выведено из работы.

### **1.7 Ход выполнения работы**

1. Взять задание у преподавателя.
2. Произвести оценку тепловизионных снимков и замеров, выполненных при помощи тепловизора, и сделать соответствующие выводы.
3. Составить отчет, в который входит
  - принцип работы тепловизора, описание его конструкции и характеристик
  - принцип работы пирометра, описание его конструкции и характеристик
  - основные этапы проведения инфракрасной диагностики в зависимости от вида исследуемого объекта
  - исходные снимки и анализ по ним с соответствующими выводами и мерами по устранению недостатков.

### **1.8 Вопросы для самоподготовки**

- 1 Знать основные понятия, рассматриваемые в лабораторной работе:  
Тепловизионный контроль, Тепловизор, Тепловое изображение, Термограмма, Превышение температуры, Избыточная температура,

Коэффициент дефектности, Контакт, Контактное соединение, Коэффициент теплового излучения

- 2 Конструкция и принцип работы тепловизора
- 3 Конструкция и принцип работы пирометра
- 4 Порядок проведения тепловизионного контроля
- 5 Факторы, влияющие на результат диагностики
- 6 Периодичность проведения ТК для ВЛ и ПС
- 7 Оценка результатов ТК по значениям:
  - избыточной температуры
  - превышения температуры
  - коэффициенту дефектности

## **2 Лабораторная работа №2. Измерение сопротивления изоляции кабеля**

Цель работы: Изучить назначение, принцип работы и устройство цифрового мегомметра UT513. Провести испытания изоляции предложенного образца силового кабеля и сделать соответствующие выводы об её состоянии.

### **2.1 Основные сведения**

От состояния изоляции электрических проводов, кабелей и электрооборудования зависят потери электрической энергии в линиях, надежность работы оборудования, безопасность обслуживающего персонала.

На изоляционные свойства оказывают влияние такие факторы, как величина проходящего тока, режим работы, уровень напряжения, время эксплуатации, механические воздействия, температура и влажность воздуха, и другие.

Изменения свойств изоляции могут быть обратимыми и необратимыми (старение). Необратимые изменения связаны с изменением физических свойств и химической структуры материала.

Важнейшими задачами электротехнического персонала является определение интенсивности старения изоляционных конструкций и своевременное принятие мер по поддержанию свойств изоляционных материалов на установленном уровне.

Измерение сопротивления изоляции постоянному току является наиболее распространенным видом контроля состояния изоляции.

Изоляция выполняется из диэлектрических материалов, которые практически не проводят электрической ток. При приложении постоянного напряжения на поверхности диэлектрика сосредотачиваются положительные и отрицательные заряды, создающие внутри электрическое поле. Под его действием в толще изоляции возникают поляризационные явления - электроны и ионы устремляются к полюсам противоположных знаков, а диполи медленно поворачиваются, ориентируясь вдоль линий электрического поля, чтобы скомпенсировать его.

Диэлектрики обладают весьма малыми значениями электропроводности. Их молекулы связаны и соответственно в них нет свободных электронов, однако при приложении соответствующего напряжения происходит пробой, вследствие тока через изоляцию. Откуда же взялся ток? Просто в изоляции всегда присутствуют примеси, они и обуславливают наличие этих свободных электронов, при поляризации которых будет приобретено направленное движение, что и создаст ток.

Ток, который протекает в изоляции и обусловленный наличием малой электропроводности в изоляции будет называться током утечки.

Пути протекания тока утечки могут быть по объему изоляции и ее поверхности. На поверхности токи будут обусловлены наличием различного рода загрязнений, пыли и увлажненности. В случае применения композитных

диэлектриком или многослойных, может наблюдаться заряд между слоев изоляции, что приведет к росту токов.

Ток утечки будет содержать две составляющие: абсорбционный ток и сквозной ток.

Отраженные процессы в изоляции могут быть представлены схемой замещения диэлектрика с потерями на рисунке 2.1.

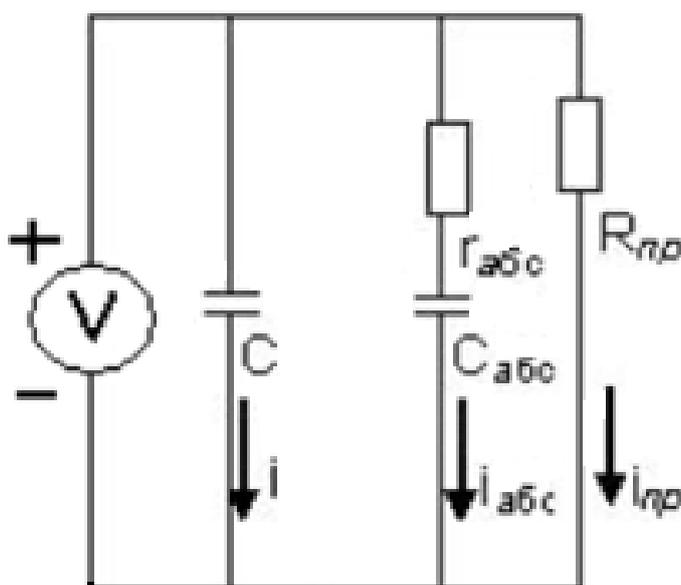


Рисунок 2.1 - Схема замещения диэлектрика с потерями

В схеме представлено три ветви, которые моделируют ток утечки и соответственно его составляющие.

В первой ветви представлен процесс поляризации в диэлектрике, который включает в себя два вида: ионную и электронную.

Ток абсорбции замещается второй ветвью.

Сопротивление в третьей ветви будет имитировать сквозной ток в изоляции.

Токи утечки (рисунок 2.2) являются причиной нагревания диэлектрика, а основной вклад в потери вносят процессы проводимости и установления поляризации. Проводимость определяет потери под действием постоянного

напряжения и, в меньшей степени, при низких частотах. По мере повышения частоты возрастает роль поляризационных потерь. Дело в том, что поляризация устанавливается не мгновенно, а в течение некоторого времени, зависящего от типа поляризации.

При подаче постоянного напряжения на конденсатор, между обкладками которого находится диэлектрик, через него протекает падающий со временем ток (рисунок 2.2):

$$I = I_{\text{см}} + I_{\text{абс}} + I_{\text{скв}} \quad (2.1)$$

Ток смещения весьма мал по своему значению и практически не может быть зафиксирован приборной базой, исключение составляют лабораторные испытания и особо точная техника, поэтому при расчетах его либо исключают, либо приравнивают к току абсорбции.

Также это будет справедливо по отношению к плотности тока абсорбции и тока смещения, они также будут примерно равны между собой.

Процесс протекания тока смещения по времени представлен на рисунке 2.2.

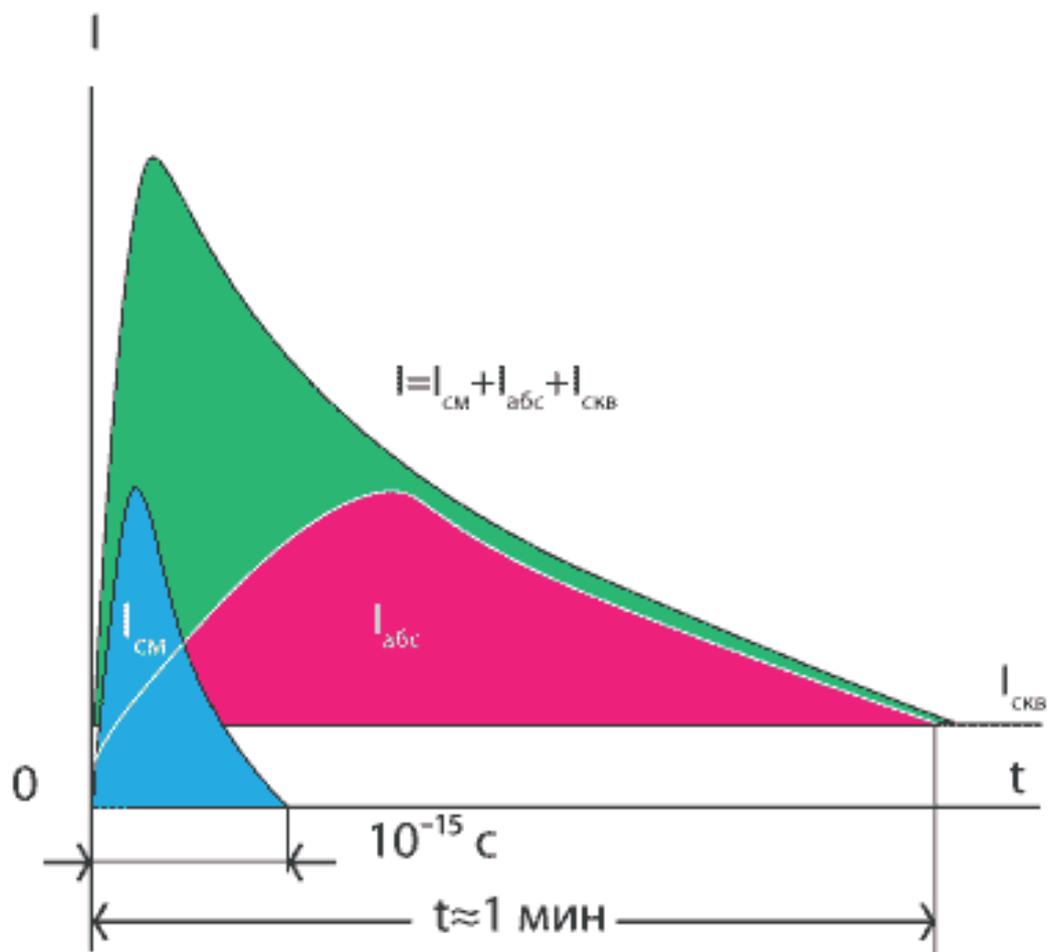


Рисунок 2.2 - Зависимость тока от времени действия постоянного напряжения

Сквозной ток утечки  $I_{CKB}$  вызван перемещением в диэлектрике свободных зарядов различной природы, не изменяется со временем и вызывает потери, аналогичные потерям по закону Джоуля — Ленца в проводниках.

Сопротивление изоляции  $R_{ISO}$  определяет закон Ома:

$$R_{ISO} = \frac{U_{изм}}{I_{CKB}}, \quad (2.2)$$

где  $R_{ISO}$  — сопротивление изоляции (Ом),

$U_{изм}$  — постоянное напряжение измерения (В),

$I_{скв}$  — сквозной ток утечки (А).

Из характеристики видно, что в первый момент времени при подаче постоянного напряжения между обкладками конденсатора возникает импульс зарядного тока  $I_{см}$  (через емкость мгновенной поляризации). Величина этого импульса определяется только активным сопротивлением цепи (индуктивностью цепи можно пренебречь), так как в первый момент после включения любой конденсатор ведет себя как короткозамкнутый. При малом сопротивлении цепи импульс зарядного тока по величине приближается к току короткого замыкания. В последующий момент происходит заряд абсорбционной емкости (емкости медленной поляризации). В диэлектрике конденсатора под действием напряжения абсорбируется (поглощается) электрическая энергия. Ток заряда (ток абсорбции  $I_{абс}$ ) спадает примерно по экспоненциальной кривой, определяемой постоянной времени цепи:

$$\tau = R_{ISO} \cdot C \quad (2.3)$$

Постоянная времени определяет скорость спада кривой тока: через промежуток времени, равный  $\tau$ , зарядный ток будет составлять 36,8% начального значения, а через время равное  $3\tau$  – всего 5%, т. е. практически процесс заряда заканчивается. На рисунке 2.2, в момент времени  $t$ , ток утечки  $I_{скв}$  определяется только сопротивлением  $R_{ISO}$  изоляции и является одним из основных критериев при ее оценке.

Со временем абсорбционный ток приходит к минимальным значениям и затем вовсе исчезает. Ввиду этого это необходимо учесть при измерениях, так же стоит учесть и влияние тока смещения, поэтому при вычислении коэффициента абсорбции учитывает средние временные промежутки этих явлений. Они составляют 15 и 60 секунд соответственно, следовательно,

отношение сопротивлений, измеренное при этих временных значениях, позволят нам судить о качестве изоляции.

Данная зависимость представлена на рисунке 2.3.

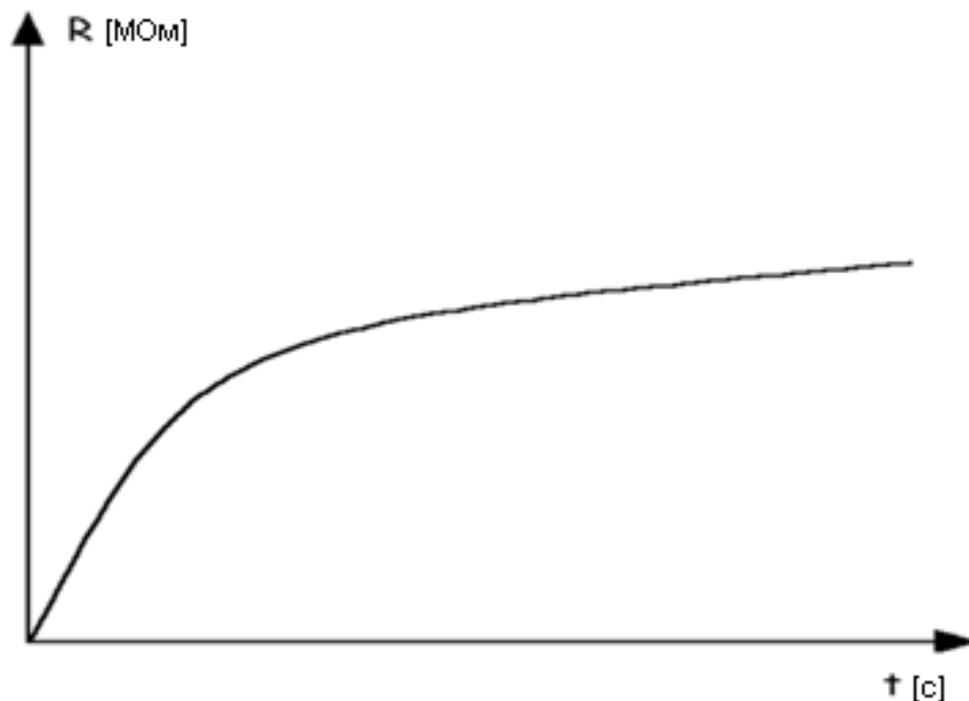


Рисунок 2.3 – Изменение коэффициента  $R_{ISO}$  от времени измерения

Величина сопротивления изоляции зависит от температуры диэлектрика и с повышением температуры резко уменьшается по экспоненте (рисунок 2.4).

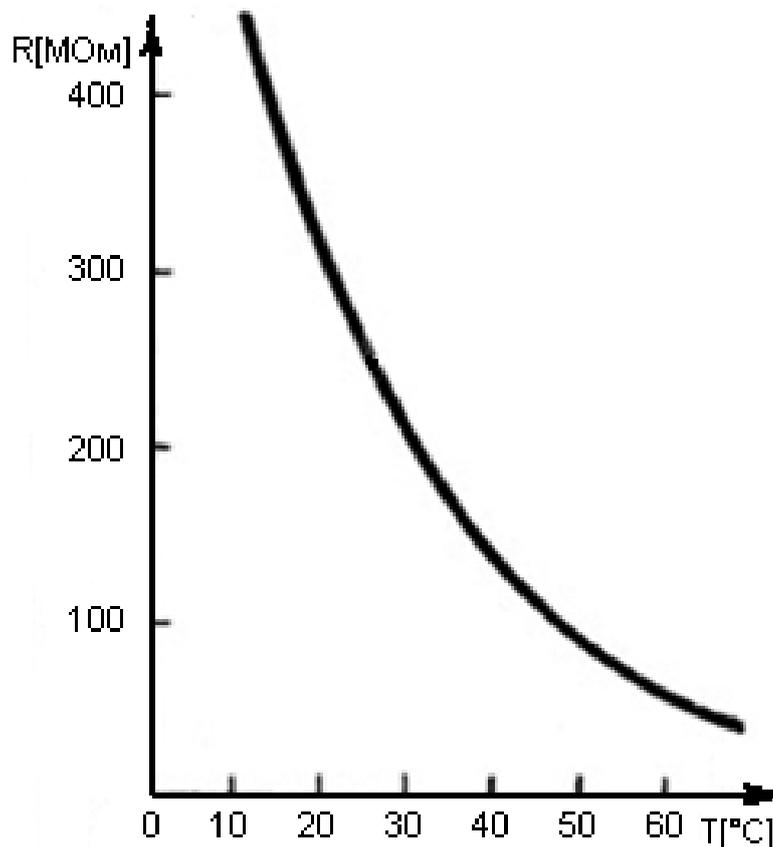


Рисунок 2.4 - Зависимость сопротивления RISO от температуры

Измерения  $R_{ISO}$  следует производить при температуре изоляции не ниже +5 °C. При более низких температурах, результаты измерения из-за замерзания влаги не отражают истинной характеристики изоляции. Если сопротивления изоляции одного и того же объекта измерены при разных температурах, то для сравнения результаты должны быть приведены к одной температуре.

После отключения испытательного напряжения, внутреннее электрическое поле слабеет, и случайное распределение молекул в диэлектрике медленно восстанавливается с постоянной времени релаксации. Физический смысл времени релаксации состоит в разряде собственной емкости диэлектрика  $C$  через сопротивление  $R_{ISO}$ . На это явление следует обратить особое внимание, т.к. требуется значительное время для рассеивания энергии, запасенной в изоляции кабеля, а напряжение при этом может долго превышать безопасное значение!

Например, если принять  $U_0 = U_{\text{изм}} = 1000 \text{ В}$ , а величину емкости кабеля  $C = 1 \text{ мкф}$  и  $R_{\text{ISO}} = 1 \text{ ГОм}$ , то при саморазряде за время релаксации 1000 секунд напряжение в кабеле все еще будет около 370 В (рисунок 2.5).

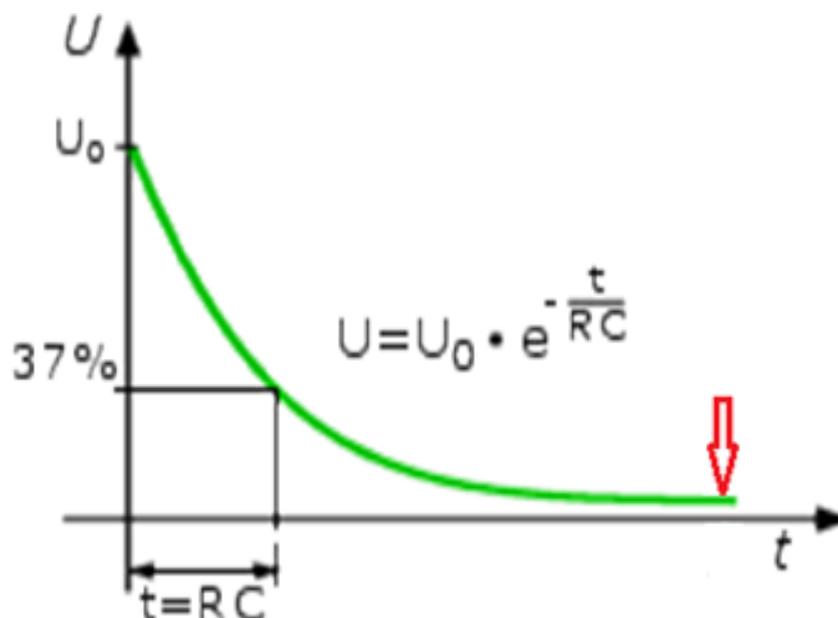


Рисунок 2.5. Зависимость RISO от напряжения измерения

Некоторые измерители сопротивления изоляции по окончании измерений автоматически разряжают измеряемый объект через внутренний резистор. В этом случае при тех же исходных параметрах, напряжение спадет.

## 2.2 Показатели качества изоляции

Коэффициент абсорбции DAR (Dielectric Absorption Ratio) — это коэффициент диэлектрического поглощения, отражающий степень увлажнённости диэлектрика изоляции. Коэффициент используется для принятия решения о необходимости просушки гигроскопической изоляции электрических машин и трансформаторов. Метод измерения основан на сравнении величин сопротивления изоляции, измеренных через 15 и 60 секунд после начала испытаний:

$$DAR = \frac{R_{60}}{R_{15}} \quad (2.4)$$

Появление влаги в изоляции (абсорбция влаги) приводит к резкому снижению сопротивления  $R_{ISO}$  и росту тока утечки, так как во влаге содержатся растворенные примеси, т. е. свободные ионы. Уменьшение сопротивления опасно также и тем, что приводит к росту диэлектрических потерь. Вследствие этого снижается напряжение теплового пробоя и, кроме того, происходит дополнительный нагрев изоляции, что влечет за собой ускорение темпов теплового старения. Вода – это сильнополярный диэлектрик с относительной диэлектрической проницаемостью во много раз больше, чем у диэлектрических материалов, используемых для изоляции. При неравномерном и сильном увлажнении это обстоятельство может привести к искажению электрического поля в изоляции и снижению пробивного напряжения. На практике, поглощенную влагу можно удалить из изоляции при сушке, но этот процесс потребует затрат времени и энергии.

В соответствии с действующими в РФ Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) коэффициент абсорбции необходимо измерять на обмотках двигателей и обмотках трансформаторов после капитального и текущего ремонта.

Индекс поляризации PI (Polarization Index) показывает способность заряженных частиц перемещаться в диэлектрике под воздействием электрического поля, что определяет степень старения изоляции. Метод измерения основан на сравнении величин сопротивления изоляции через 60 и 600 секунд после начала испытаний:

$$PI = \frac{R_{600}}{R_{60}} \quad (2.5)$$

Коэффициент поляризации не является обязательным при проведении испытаний и определяется при комплексном испытании электроустановок. Значение коэффициента показывает остаточный ресурс изоляции. Данное испытание занимает достаточно много времени и характеризует сильно замедленный поляризацией ток.

Таблица 2.1 – Нормируемые значения индекса поляризации и коэффициента абсорбции

Индекс поляризации	Коэффициент абсорбции	Качество изоляции
< 1	< 1,25	Опасное
1...2		Несоответствующее
2...4	1,25...1,6	Хорошее
> 4	> 1,6	Отличное

Коэффициент диэлектрического разряда DD (Dielectric Discharge) используется при проверке неоднородной или многослойной изоляции, позволяя обнаружить дефектный слой среди исправных слоев с высоким сопротивлением. При помощи стандартных измерений коэффициентов PI и DAR такой дефект можно не заметить.

Сначала исследуемая изоляция заряжается напряжением в течение определенного времени и измеряется ее емкость. После завершения процесса зарядки и поляризации, единственным током, текущим через изоляцию будет ток утечки. Затем объект измерения разряжается и через изоляцию начинает течь суммарный ток диэлектрического разряда. Этот ток первоначально является суммой тока разряда емкости, который очень быстро исчезает, и тока абсорбции. Ток утечки будет незначительный, так как отсутствует испытательное напряжение. Поэтому коэффициент диэлектрического разряда является величиной, характеризующей качество изоляции, независимо от испытательного напряжения.

Через 1 минуту после короткого замыкания измерительной цепи, измеряется остаточный протекающий ток. Значение DD рассчитывается по следующей формуле:

$$DD = \frac{I_{1\text{мин}}}{U_{\text{изм}} \cdot C} \quad (2.6)$$

где  $I_{1\text{мин}}$  — ток, измеренный через 1 минуту после короткого замыкания (нА),  
 $U_{\text{изм}}$  — напряжение при измерении (В),  
 $C$  — емкость (мкФ).

Таблица 2.2 – Нормируемые значения коэффициента диэлектрического разряда

Коэффициент диэлектрического разряда	Качество изоляции
> 7	Очень плохое
4...7	Плохое
2...4	Неудовлетворительное
< 2	Хорошее

### 2.3 Оценка измерений

Измерение сопротивления изоляции электропроводок, в том числе и осветительных сетей, производится не реже 1 раза в 3 года, а для электропроводок в особо опасных помещениях и наружных установках стационарных, электроплит, кранов и лифтов - не реже 1 раза в год.

Все измеренные значения сводятся в протокол, где фиксируются результаты 10 значений замеров сопротивления изоляции для трехфазной пятипроводной линии и 3 замера — для однофазной трехпроводной линии. В

конец протокола проверяется соответствие требованиям ПУЭ. В случае выявления кабеля или провода с нарушенной изоляцией он не допускается к дальнейшей эксплуатации и подлежит замене.

Таблица 2.3 – Нормируемые значения сопротивлений

Испытуемый элемент	Напряжение мегомметра	Не менее
1	2	3
Системы безопасного сверхнизкого напряжения и функционального сверхнизкого напряжения	250 В	0,25 МОм
Силовые цепи (кроме систем БССН и ФССН)	до 500 В	0,5 МОм
Силовые цепей	выше 500В	1 МОм
Вторичные цепи	до 500 В	1МОм
Электропроводки, в том числе и осветительные сети	выше 500В	0,5 МОм
РУ, щиты и токопроводы	500 - 1000	0,5 МОм
Стационарные электроплиты		1 МОм
Краны и лифты		0,5 МОм
Обмотка статора у электродвигателей переменного тока	до 1000 В	1 МОм при температуре 10...30 °С 0,5 МОм при температуре 60 °С–
Обмотка ротора электродвигателя	до 1000 В	0,2 МОм

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3
---	---	---

Изолирующий пол и стены в изолирующих помещениях	До 500 В	50 кОм
	выше 500В	100 кОм
Бытовые автоматические выключатели и УЗО между полюсами	До 500 В	2 МОм
Бытовые автоматические выключатели и УЗО между полюсами и металлическим основанием (корпусом)	До 500 В	5 МОм
Автоматические выключатели	До 500 В	0,5 МОм

## 2.4 Описание прибора

Цифровой мегомметр UT513, предназначен для измерения сопротивления изоляции в диапазоне от 0,5 МОм до 1000 ГОм с испытательным напряжением от 500 до 5000 Вольт.

Меры безопасности.

Запрещается использовать мегомметр в случае повреждения изоляции соединительных проводов, если мегомметр работает со сбоями, и есть возможность неисправности мегомметра или иного оборудования .

При работе с измерительными щупами пальцы необходимо держать выше защитного ограничителя

Запрещается использовать мегомметр в устройствах, на зажимах или корпусе которых может оказаться постоянное напряжение более 1000 Вольт или переменное более 750 Вольт.

Когда мегомметр работает под постоянным напряжением свыше 60Вольт или переменным свыше 30Вольт, должны применяться специальные меры электробезопасности.

При замене батареи мегомметр должен быть отключен от измерительных проводов, а выключатель питания должен быть в положении off.

Переключатель режима работы должен быть установлен в положение соответствующее измеряемым параметрам и не должен переключаться во время проведения измерений.

Использование разряженной батареи ведет к получению ложных показаний.

Мегомметр автоматически переключается в спящий режим при отсутствии активности в течение 15 минут. Это необходимо для сбережения энергии батарей питания. Прибор выводится из данного режима нажатием 2 раза кнопки ON/OFF. 15-ти минутный отсчет времени невозможен в течение измерения, он начинается сразу после любого измерения.

Таблица 2.4 – Индикация заряда батарей питания.

Индикация	Значение напряжения питания
	8.5 Вольт, измерения невозможны
	8.6-9 Вольт. Измерения возможны, но не точны
	9.1-10.2 Вольт. Нормальный режим работы
	10.3 Вольт или более. Нормальный режим работы.



Рисунок 2.6 – Дисплей

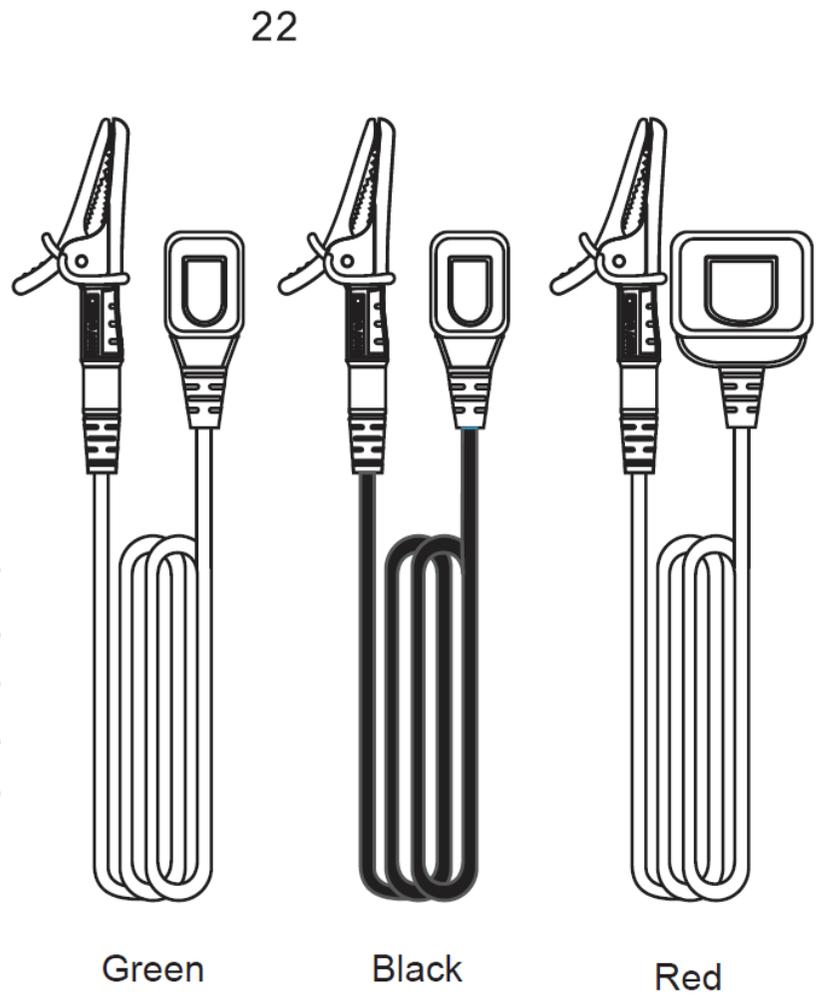
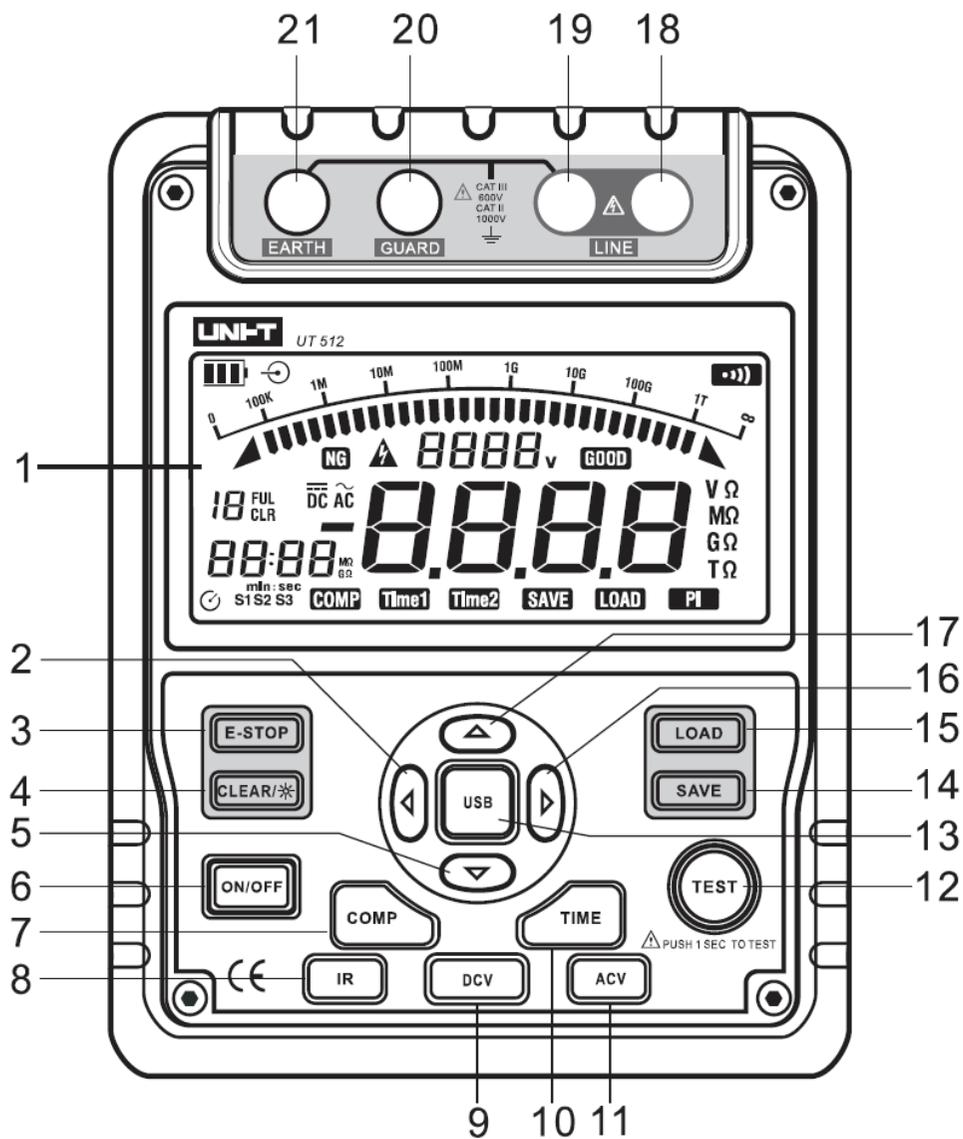


Рисунок 2.7 – Органы управления

Таблица 2.5 – Органы управления.

Поз	Символ	Наименование \ функция \ действие
1.		ЖК дисплей
2.	◀	Кнопка «прокрутки» влево. В режиме установки времени таймера – уменьшает время теста. В режиме сравнения – уменьшает значение сопротивления. В режиме измерения индекса поляризации – выводит значение индекса на дисплей.
3.	E-STOP	Кнопка экстренной остановки теста. Применяется в случае аварийных режимов, а также в случаях сбоев прибора, невозможности отключения, начального сброса настроек и т.д..
4.	CLEAR ☀	Очистка памяти\подсветка.
5.	▼	Кнопка «прокрутки» вниз/уменьшения. В режиме измерения сопротивления изоляции – уменьшает значение тестового напряжения. В режиме загрузки ранее записанных показаний вызывает следующее записанное значение.
6.	ON\OFF	Кнопка включения\выключения. Для включения или отключения прибора нажмите и удерживайте кнопку в течение 1 секунды.
7.	COMP	Кнопка установки режима сравнения. Устанавливает предел сопротивления изоляции при котором тест считается пройденным или нет. По умолчанию – устанавливается равным 100 МОм .
8.	IR	Кнопка включения режима измерения сопротивления изоляции.
9.	DCV	Кнопка включения режима измерения постоянного напряжения.
10.	TIME	Кнопка включения установки таймера.
11.	ACV	Кнопка измерения переменного напряжения.
12.	TEST	Кнопка запуска \ остановки теста.
13.	USB	Кнопка включения\отключения USB Порта.

Продолжение таблицы 2.5

14.	SAVE	Кнопка записи показаний в память прибора. Для записи текущих показаний нажмите однократно. Максимальное число записей – 18. При переполнении памяти срабатывает индикатор FUL на дисплее. Для очистки применяется кнопка CLEAR .
15.	LOAD	Кнопка вызова ранее записанных показаний. Для вызова первых записанных показаний – нажмите кнопку однократно. Следующее нажатие выведет на дисплей следующее значение. Загрузка показаний выполняется, когда отключено высокое напряжение.
16.	▶	Кнопка «прокрутки» вправо. В режиме установки времени таймера – увеличивает время теста. В режиме сравнения – увеличивает значение сопротивления. В режиме измерения индекса поляризации – выводит значение индекса на дисплей.
17.	▲	Кнопка «прокрутки» вверх\увеличения. В режиме измерения сопротивления изоляции нажатие на кнопку увеличивает значение тестового напряжения. В режиме загрузки записанных ранее показаний – вызывает предыдущие показания.
18.	LINE	Гнездо «линия»
19.	LINE	Гнездо «линия»
20.	GUARD	Гнездо «защита»
21.	EARTH	Гнездо «земля»
22.		Измерительные провода

Таблица 2.6 – Описание символов на дисплее.

Позиция	Символ	Наименование \ функция
1.	DC	Индикатор постоянного напряжения
2.	FUL	Индикатор заполнения памяти
3.	CLR	Индикатор очистки памяти
4.	AC	Индикатор переменного напряжения
5.		Индикатор таймера
6.	S1,S2,S3	Индикатор пошагового процесса
7.	COMP	Индикатор включения режима сравнения
8.	-	Индикатор неправильного чтения
9.	Time1	Индикатор включения таймера 1
10.	Time2	Индикатор включения таймера 2
11.	SAVE	Индикатор записи показаний
12.	LOAD	Индикатор загрузки показаний
13.	PI	Индикатор измерения поляризации
14.		Индикатор текущих единиц измерения
15.		Индикатор включения звукового сигнала
16.	GOOD	Индикатор прохождения теста сравнения
17.		Аналоговая шкала
18.		Индикатор опасного высокого напряжения
19.	NG	Индикатор не прохождения теста сравнения
20.		Индикатор включения внешнего питания
21.		Индикатор заряда батареи

## 2.5 Производство измерений:

### 2.5.1 Измерения напряжения

Во избежание поломки прибора, избегайте измерений напряжений значениями более 600 Вольт (постоянное напряжение), более 600 Вольт (переменное напряжение).

Порядок операций:

1. Включите прибор, нажав и удерживая 1 сек кнопку ON/OFF.
2. Кнопкой DCV или ACV включите режим измерения постоянного или переменного напряжения соответственно.
3. Подсоедините измерительные провод красного цвета к входу LINE, а зеленый ко входу EARTH.
4. В случае, если при измерении постоянного напряжения на красном проводе будет отрицательный потенциал – на дисплее отображается «минус».

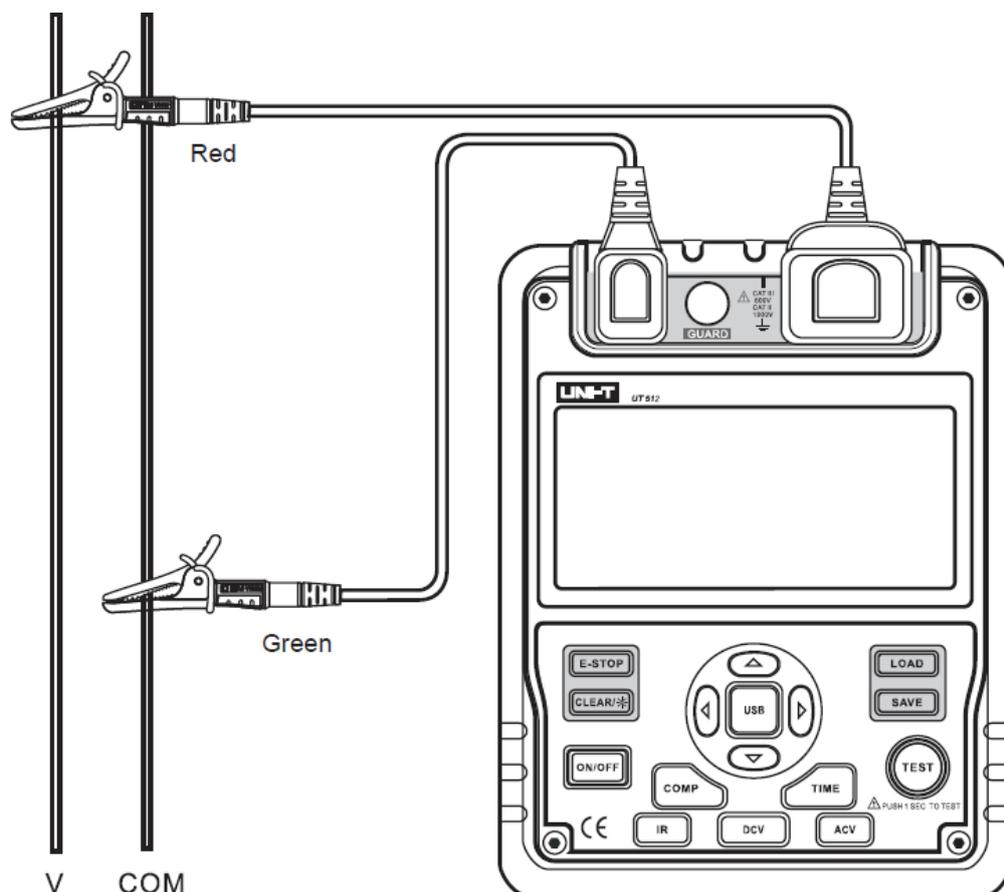


Рисунок 2.8 - Схема подключения

### 2.5.2 Измерение сопротивления изоляции.

Перед измерением сопротивления изоляции необходимо отключить все источники энергии и разрядить все конденсаторы в исследуемой цепи.

Во время тестов мегомметр подает высокое напряжение, опасное для жизни и некоторых устройств. Перед тестом нужно отключить элементы схемы, которые могут быть повреждены высоким напряжением и убедиться в отсутствии контакта схемы с людьми. Запрещается замыкать накоротко измерительные провода во время и после теста. Это может вызвать искру и пожар.

Запрещается измерять более 10 секунд сопротивление изоляции в следующих режимах:

При 500 Вольт тестовом напряжении – менее 2МОм

При 1000 Вольт – менее 5МОм

При 2500 Вольт – менее 10 Мом

При 5000 Вольт – менее 20 МОм.

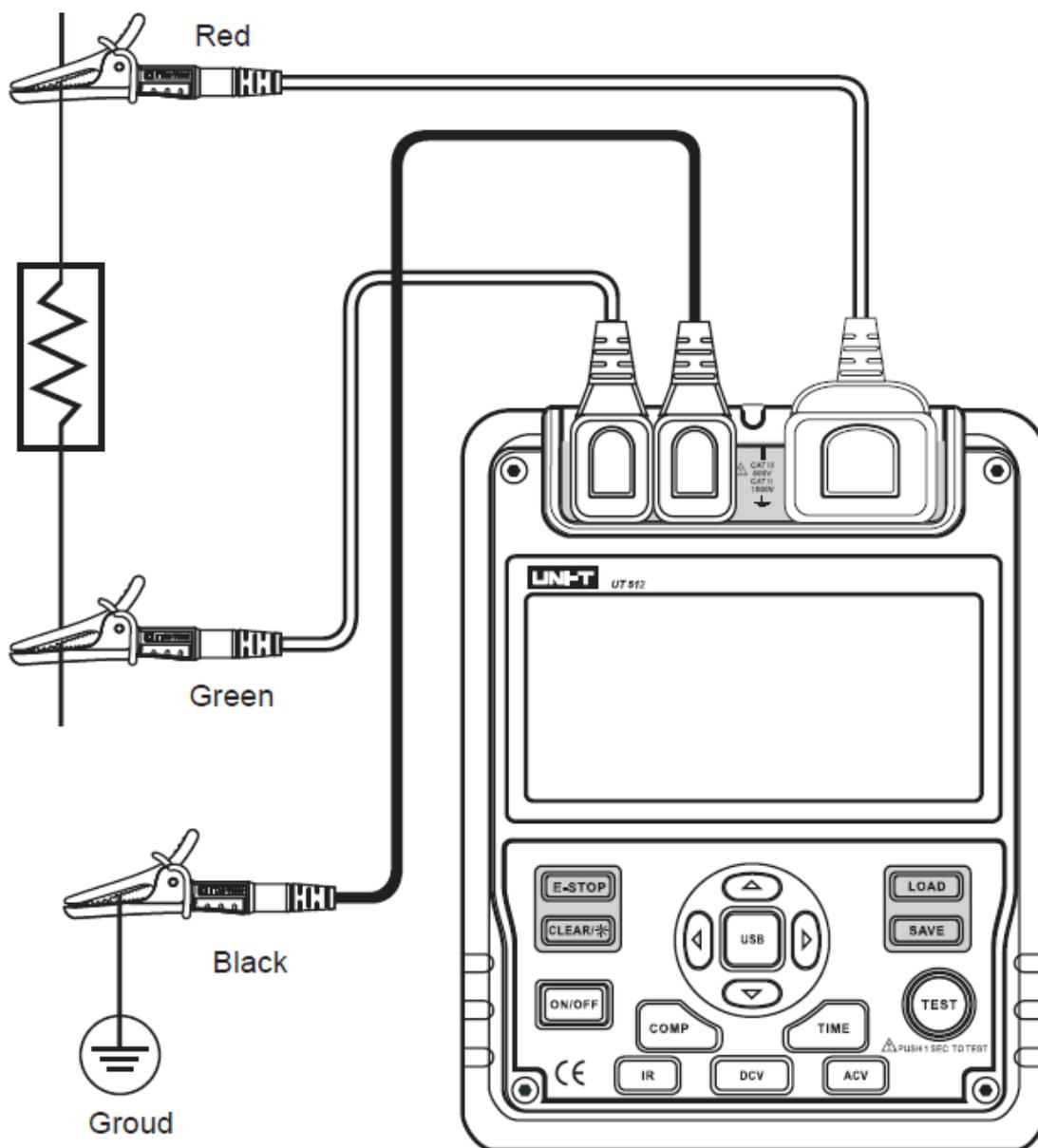


Рисунок 2.9 – Схема подключения

Порядок операций:

1. Нажмите кнопку IR для включения режима измерения сопротивления изоляции.
2. Кнопками ▲▼ установите тестовое напряжение.
3. Подключите провода согласно схеме.
4. Выберите режим измерений.

Эти действия повторяются в начале каждого из режимов

#### **4.1. Режим непрерывных измерений**

4.1.1. Нажмите кнопку TIME и выберите режим непрерывных измерений (когда индикаторы TIME не отображаются на дисплее).

4.1.2. Нажмите и удерживайте кнопку TEST не менее 1 с. Начнется измерение. Ход процесса будет подтверждаться миганием кнопки TEST каждые 0,5 с и значком высокого напряжения на дисплее .

4.1.3. Для окончания теста нажмите кнопку TEST .Об окончании процесса сигнализирует отсутствие значка высокого напряжения на дисплее.

#### **4.2. Режим прерывистых измерений**

4.2.1. Нажмите кнопку TIME и выберите режим прерывистых измерений, когда индикатор TIME1 отображается на дисплее).

4.2.2. Кнопками ◀ и ▶ установите время таймера (00:05-29-30).

4.2.3. Нажмите и удерживайте кнопку TEST не менее 1 секунды. Начало теста будет индицироваться миганием значка высокого напряжения и индикатора таймера TIME1.

4.2.4. По окончании установленного времени прибор автоматически остановит измерения и на дисплее будет отображено текущее последнее значение сопротивления изоляции.

### **4.3. Измерение индекса поляризации**

4.3.1. Нажмите кнопку TIME и выберите режим установки первого таймера (когда индикатор TIME1 отображается на дисплее).

4.3.2. Кнопками ◀ и ▶ установите время таймера для первого измерения (от 5 с до 29 мин 30 с).

4.3.3. Нажмите кнопку TIME и выберите режим установки таймера второго измерения (когда индикатор TIME2 отображается на дисплее).

4.3.4. Кнопками ◀ и ▶ установите время таймера для второго (от 10 с до 30 мин).

4.3.5. Нажмите и удерживайте кнопку TEST не менее 1 секунд. Начало теста будет индицироваться миганием кнопки TEST, значком высокого напряжения и индикатором таймера TIME1, затем при переходе на работу под управлением второго таймера TIME 2.

4.3.6. По окончании установленного времени прибор автоматически остановит измерения и на дисплее будет отображено текущее значение индекса поляризации.

### **4.4. Режим сравнения**

4.4.1. Нажмите кнопку COMP для включения режима сравнения. На дисплее появится символ COMP .

4.4.2. Кнопками ◀▶ установите образцовое пороговое значение сопротивления.

4.4.3. Нажмите и удерживайте кнопку TEST не менее 1 секунды. Начало теста будет индицироваться миганием кнопки TEST ,значком высокого напряжения.

4.4.4. В случае, если измеренное значение больше заданной пороговой величины – на дисплее отображается GOOD, если меньше – NG.

## 2.6 Ход выполнения работы:

- 1 Подготовьте прибор к работе.
- 2 Измерьте напряжение в указанном преподавателем месте или приборе.
- 3 Подготовьте испытуемый образец, присоединив к нему клеммы.
- 4 Снимите показания прибора.
- 5 Результаты испытаний занесите в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты исследований

№ п/п	Время	Значение сопротивления	Вид испытания	Примечание
1				
2				
3				
...				
42				

- 6 По результатам вычислить коэффициенты абсорбции и поляризации.
- 7 Сделать необходимые выводы.

## 2.7 Вопросы для самоподготовки:

1 Знать определения:

Ток абсорбции, Сквозной ток утечки, Ток смещения, Коэффициент абсорбции, Индекс поляризации, Коэффициент диэлектрического разряда

2 Схема замещения диэлектрика с потерями.

3 Физические процессы, протекающие в изоляции при приложении постоянного напряжения.

4 Показатели качества изоляции. Коэффициент абсорбции, нормируемые значения.

5 Показатели качества изоляции. Индекс поляризации, нормируемые значения.

6 Показатели качества изоляции. Коэффициент диэлектрического разряда, нормируемые значения.

7 Органы управления цифрового мегомметра UT513.

8 Индикация дисплея цифрового мегомметра UT513.

9 Производство измерений. Измерения напряжения: схема подключения, порядок действий.

10 Производство измерений. Измерение сопротивления изоляции: схема подключения, порядок действий в режиме непрерывных измерений.

11 Производство измерений. Измерение сопротивления изоляции: схема подключения, порядок действий в режиме прерывистых измерений.

12 Производство измерений. Измерение сопротивления изоляции: схема подключения, порядок действий в режиме измерения индекса поляризации.

13 Производство измерений. Измерение сопротивления изоляции: схема подключения, порядок действий в режиме сравнения.

### **3 Лабораторная работа № 3. Измерение параметров устройства защитного отключения**

Цель работы: Изучить строение прибора и произвести измерения сети согласно приведенной методике, сделать соответствующие выводы.

#### **3.1 Общие теоретические положения**

Устройство защитного отключения (УЗО) – это прибор, предназначенный для защиты людей и животных от поражения электрическим током при появлении неисправности в электроустановке в результате случайного или ошибочного соприкосновения с токоведущими частями электроустановки во время утечки тока; защиты от воспламенения электропроводки при замыкании на землю (корпус) путем отключения питающего напряжения.

Основными элементами УЗО являются дифференциальный трансформатор тока, электромеханическое или электронное реле, исполнительный механизм: контактная группа и пружина (рисунок 3.1).

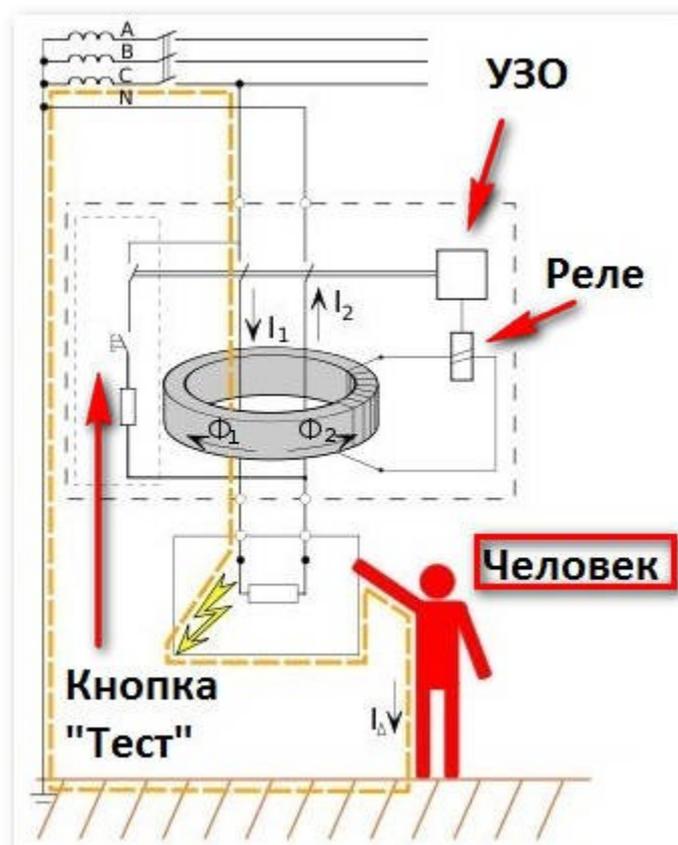


Рисунок 3.1 – Схема работы УЗО

При нормальной работе сети токи, протекающие в фазном и нулевом проводе, создают в обмотках дифференциального автомата равные по величине, но встречно направленные магнитные потоки. Результирующий магнитный поток равен нулю, ЭДС не возникает, следовательно, ток во вторичной обмотке также равен нулю.

При случайном или ошибочном соприкосновении с токоведущими частями электроустановки появляется ток утечки. В этом случае токи, протекающие в фазном и нулевом проводе не равны, и отличаются на величину тока утечки. Результирующий магнитный поток так же не равен нулю, возникает ЭДС, во вторичной обмотке начинает протекать ток. При достижении тока утечки уставки срабатывания реле приводит в работу пружинный механизм и отключает сеть.

Для тестирования работоспособности УЗО на корпусе находится кнопка «Тест». Блок тестера представляет собой разомкнутый контакт — кнопку с пружинным самовозвратом и токоограничивающий резистор R. Его величина подобрана для создания минимально достаточного тока, искусственно имитирующего утечку.

При нажатии кнопки «Тест» подключенное в работу УЗО должно отключиться. Если этого не произошло, то его следует браковать, искать поломку и ремонтировать или заменять исправным. Ежемесячное тестирование устройства защитного отключения повышает надежность его эксплуатации.

УЗО может быть однофазным или трехфазным, подключаться как в четырехпроводные, так и в трехпроводные сети (рисунок 3.2).

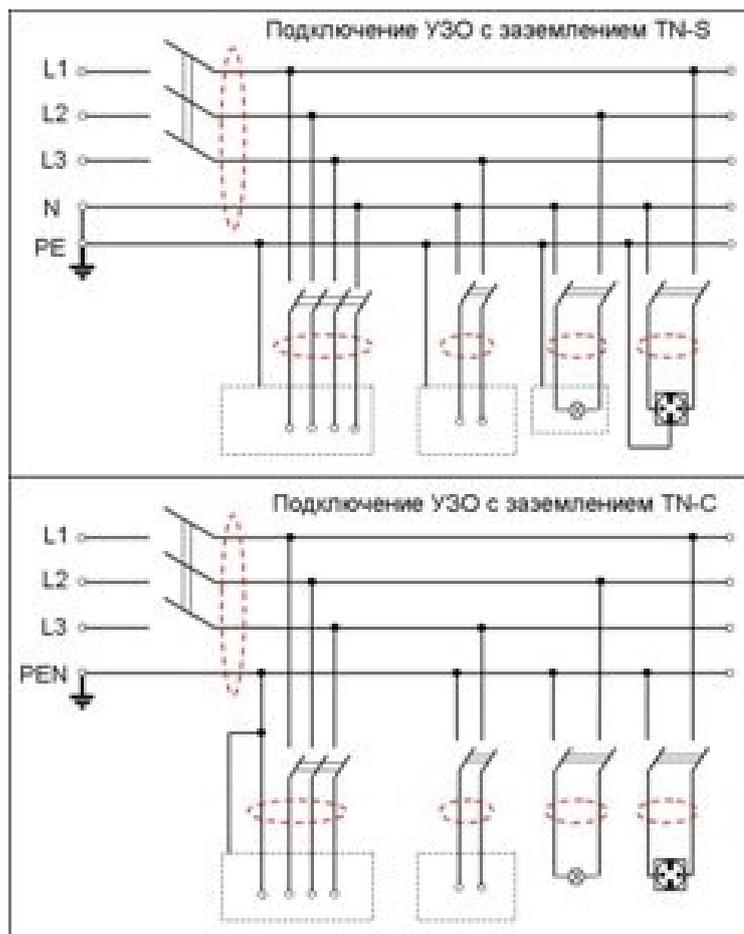


Рисунок 3.2 – Схема подключения УЗО

Отличие устройства защитного отключения и дифференциального автомата заключается в том, что дифференциальный автомат совмещает в себе УЗО и автоматический выключатель: помимо функций УЗО он так же защищает проводку и подключенное оборудование от коротких замыканий и перегрузок.

### **3.2 Правила безопасной работы с цифровым тестером УЗО UT581**

Прежде чем приступать к измерениям, прочтите и осмыслите настоящую инструкцию.

Соблюдайте все предписания инструкции и держите ее под рукой, чтобы иметь возможность обращаться к ней в ходе измерений. Работая с прибором, вы должны следовать процедурам измерения, приведенным в инструкции. Особенно внимательно прочтите инструкцию в части правил безопасной работы.

Необходимо строго придерживаться всех правил безопасной работы. В противном случае возникает опасность несчастного случая или повреждения прибора.

 «Опасно!» - указывает на условия или действия, которые с большой вероятностью могут привести к несчастным случаям вплоть до смертельного исхода.

 Опасно!

Данный прибор предназначен для работы под однофазным напряжением 230В+10%-15% (диапазон рабочих напряжений 195-253 В).

Во избежание поражения электрическим током и получения травм, не работайте с тестером или измерительными проводами, если они выглядят поврежденными или имеют участки оголенного металла, или тестер работает неправильно. В случае сомнений свяжитесь с сервисной службой.

Не прикасайтесь к измерительным проводам в процессе тестирования.

По завершении тестирования отсоедините измерительные провода от обследуемого объекта и от гнезд тестера.

«Осторожно!» - указывает на условия или действия, которые с некоторой вероятностью могут привести к несчастным случаям вплоть до смертельного исхода.

 Осторожно!

Не открывайте и не разбирайте прибор без надобности. При необходимости ремонта обратитесь в сервисный центр.

Если тестер имеет признаки ненормальной работы (например, изображение на дисплее неполное, неправильные вычисления, повреждения корпуса, шум в процессе измерений и т.д.), свяжитесь с сервисной службой.

Не работайте с тестером, если у вас мокрые руки.

«Предупреждение» - указывает на условия или действия, которые могут привести к повреждению прибора.

 Предупреждения

Перед выполнением измерения удостоверьтесь, что измерительные провода вставлены в надлежащие гнезда. Не рекомендуется применять вместе с тестером провода, произведенные другими фирмами.

Не подвергайте прибор воздействию высоких температур и влаги.

Для очистки поверхности прибора при обслуживании следует использовать мягкую ткань и мягкодействующее моющее средство. Применение абразивов и растворителей не допустимо.

Если прибор влажный, просушите его, прежде чем убирать на хранение.

На данном приборе используются следующие международные электрические символы. Обращайте на них внимание в процессе работы (рисунок 3.3).

	Предупреждение. Обратитесь к инструкции по эксплуатации
	Заземление
	Соответствие стандартам Европейского союза
	Двойная или усиленная изоляция

Рисунок 3.3 – Электрические символы

### 3.3 Особенности прибора

Этот тестер предназначен для работы под однофазным напряжением 230В/50 Гц (диапазон рабочих напряжений 195-253В).

В приборе используется микроконтроллер с высокой точностью, надежностью и стабильностью.

Проверка правильности подключения проводов: три светодиодных индикатора сигнализируют о правильном или неправильном подключении. При правильном подключении загораются две зеленых лампочки, а красная лампочка не горит. В противном случае необходимо проверить правильность подключения.

Возможность выбора фазы: прибор позволяет начать тестирование с положительного ( $0^\circ$ ) или отрицательного ( $180^\circ$ ) полупериода.

Индикация выхода за предел измерения (символ «OL»). «OLmS» отобразится на дисплее при превышении временного лимита тестирования.

Автоматическая фиксация показания на дисплее: показание некоторое время сохраняется на дисплее после каждого тестирования.

Тест «AUTO RAMP»: синхронно измеряются время срабатывания и ток срабатывания. Имеется звуковая сигнализация об автоотключении. Звуковой сигнал подается при автоотключении через 3 минуты неактивности тестера.

Сбережение энергии в целях охраны окружающей среды: тестер не питается от батарей, питание осуществляется только от электросети (только  $\sim 220\text{В}/50\text{Гц}$ )

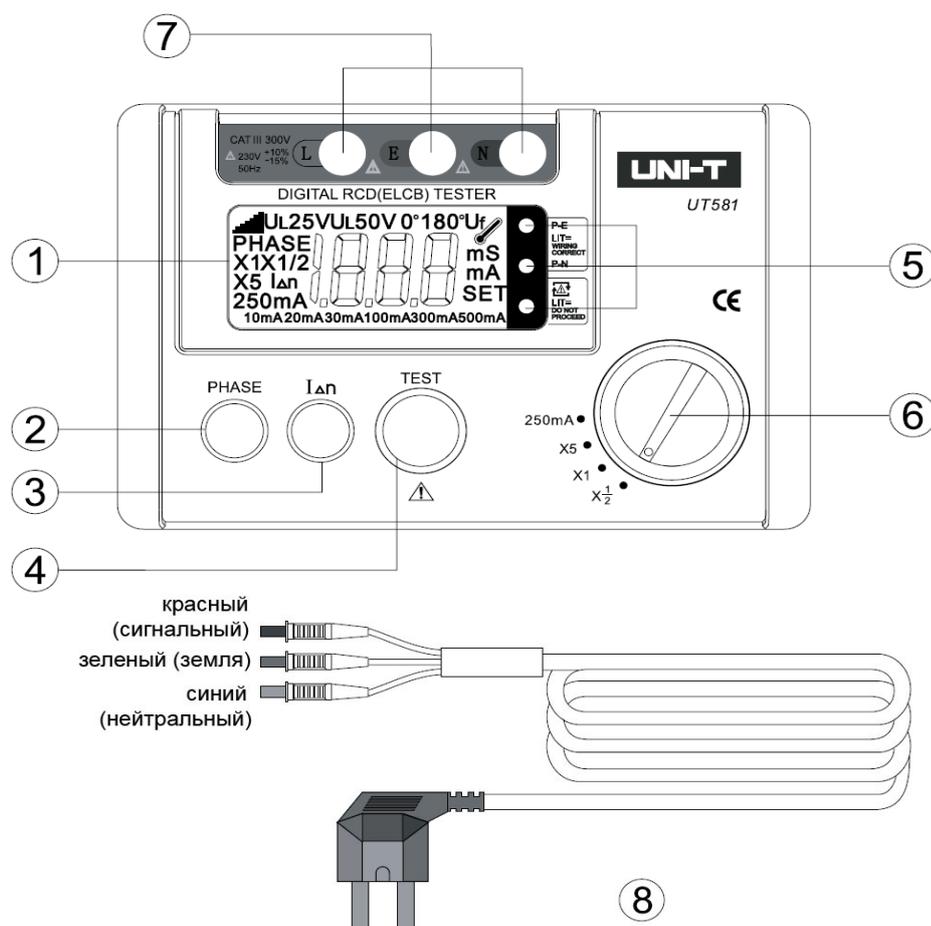
Тестер защищен плавкими предохранителями, обладает двойной или усиленной изоляцией.

### 3.4 Технические характеристики

Таблица 3. 1 - Кратность измерительного тока (функции)

х 1/2	тестирование чувствительности УЗО током, не вызывающим срабатывания.
х 1	измерение времени срабатывания при подключении
х 5	измерение времени быстрого срабатывания при $I \Delta n \times 5$
х 250 мА	измерение времени срабатывания при фиксированном тестирующем токе 250 мА (только UT581)

### 3.5 Внешний вид прибора и принадлежностей



1 Жидкокристаллический дисплей

2 Кнопка выбора фазы тестирующего тока «PHASE».

3 Кнопка выбора номинального тока УЗО «I Δn ».

4 Кнопка запуска тестирования «TEST».

5 Светодиодный индикатор подключения измерительных проводов.

6 Поворотный переключатель режимов работы.

7 Входные гнезда.

8 Измерительные провода.

Рисунок 3.4 – Внешний вид прибора и цветовая маркировка проводов

### 3.6 Выполнение измерений

Измерительные провода следует подсоединять к соответствующим выводам тестируемого устройства: L к L (сигнальный провод), N к N (нулевой провод), E к E (заземление).

После подсоединения измерительных проводов к прибору включите шнур питания в розетку (220 В / 50 Гц), чтобы светодиодный индикатор показал, верно ли подсоединены провода. Если светятся зеленые индикаторы P-E и P-N, а красный светодиод не горит, значит все в норме. В обратном случае, возможно, провода E и N подключены неправильно. Необходимо отсоединить эти провода от входных гнезд прибора, проверить их и подключить правильно. В случае неправильного подсоединения проводов к гнездам E и N в ходе измерения возможно возникновение тока утечки.

 Опасно!

Если провода подсоединены неправильно, прекратите измерения (не нажимайте кнопку TEST). В противном случае возможны ошибочные измерения, что может привести к несчастным случаям.

Нажмите кнопку «I Δn ». Она позволяет выбрать номинальный ток срабатывания УЗО (I Δn ).

Значения по умолчанию: I Δn ----- 30 мА

0°/180°----- 0°

Таблица 3.2 - Установка кратности тестирующего тока

Тип измерения	Кратность тестирующего тока
Тест на отсутствие срабатывания УЗО	x1/2: максимальное время измерения 1000 мс.
Тест на срабатывание УЗО	x1: максимальное время измерения 1000 мс (кроме номинального тока УЗО 500 мА).
Тест на срабатывание УЗО	x1: максимальное время измерения 300 мс (для номинального тока 500 мА).
Тест на быстрое срабатывание УЗО	x5 (только для номинальных токов УЗО 10, 20, 30 мА): максимальное время измерения 1000 мс
Тест на быстрое срабатывание УЗО	250 мА: максимальное время измерения 1000 мс (только UT581)

Нажмите кнопку запуска измерений (TEST)

Таблица 3.3 – Работа с прибором

Тип измерения	Поведение УЗО
Тест на отсутствие срабатывания УЗО	УЗО не должно разомкнуть цепь
Тест на срабатывание УЗО	УЗО должно разомкнуть цепь
Тест на срабатывание УЗО	УЗО должно разомкнуть цепь
Тест на быстрое срабатывание УЗО	УЗО должно разомкнуть цепь
Тест на быстрое срабатывание УЗО при токе 250 мА	УЗО должно разомкнуть цепь

Быстрый тест 250 мА: размыкатель должен быть подсоединен (только для UT581).

Нажмите кнопку «PHASE» для выбора фазы тестирующего тока, 0° или 180°.

Необходимо выполнить проверку УЗО при обоих значениях фазы.

 Осторожно!

Не используйте прибор, если он имеет повреждения или оголенные металлические элементы.

При непрерывном использовании в течение длительного времени прибор может перегреться и получить повреждения, а также стать источником различных опасностей, в связи с чем не рекомендуется долговременное непрерывное использование аппарата.

При выборе номинального тока УЗО 300 мА / 500 мА между измерениями необходимо делать перерывы не менее 5 минут.

### 3.7 Ход выполнения работы

- 1 Произвести измерения в местах, указанных преподавателем.
- 2 Записать значения показаний.
- 3 Занести результаты испытаний в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты испытаний.

Место измерения	кратность	Время срабатывания	Примечание
1			
2			
...			
n			

- 4 Сделать необходимые выводы.

5 Отчет должен содержать описание конструкции, функций, назначения и принцип действия УЗО.

### **3.8 Вопросы для самоподготовки**

1 Принцип работы УЗО.

2 Схема подключения УЗО к однофазной и трехфазной сети.

Характеристики аппаратов (самостоятельно)

3 Конструкция прибора UT581

4 Порядок выполнения измерений и обработка результатов. Пороговые значения тока и времени его протекания, опасные для человека (самостоятельно)

## **4 Лабораторная работа № 4 Измерение параметров сопротивления заземления**

Цель работы: освоить и закрепить знания о заземлении, изучить прибор 1820 ER и работу с ним, научиться снимать показания и заполнять протокол испытаний.

### **4.1 Основные сведения**

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус.

Задача защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшейся под напряжением.

Заземление выполняет функцию снижения напряжения между электроустановками, которые оказались под напряжением и землей, до безопасных значений.

При аварийной ситуации происходит повреждение изоляции и соответственно в месте повреждения будет наблюдаться ток, который пойдет в землю. На пути протекания этого тока будет падение напряжения.

Напряжение между двумя точками на пути протекания тока, к которым одновременно может прикоснуться человек (например, между корпусом электроприемника и тем местом, где стоит человек, или между ногами человека, идущего или стоящего в зоне растекания тока), называется «напряжением прикосновения» («шага»). Это напряжение будет всегда меньше «напряжения относительно земли».

В сетях с малыми токами замыкания на землю, т. е. там, где генераторы и трансформаторы работают с изолированной нейтралью или нейтралью, заземленной через компенсирующее сопротивление, безопасность персонала от прикосновения к металлическим частям, находящимся под напряжением, может быть достигнута путем выбора сопротивления заземления, при котором напряжение прикосновения будет находиться в допустимых пределах.

В сетях с большими токами замыкания на землю, т. е. там, где нейтраль трансформаторов или генераторов заземлена наглухо или через небольшое сопротивление, безопасность может быть обеспечена только путем возможно быстрого автоматического отключения поврежденного участка. Такое отключение должно осуществляться релейной защитой. Соответствующим расположением заземлителей в целях выравнивания потенциалов можно добиться дополнительного снижения напряжений прикосновения и шага.

Заземляющее устройство обладает сопротивлением. Сопротивление заземления состоит из сопротивления, которое оказывает земля проходящему току (сопротивление растеканию), сопротивления заземляющих проводов и сопротивления самого заземлителя.

Сопротивления заземляющих проводов и заземлителя обычно бывают малыми по сравнению с сопротивлением растеканию и ими во многих

случаях можно пренебречь, считая сопротивление заземления равным сопротивлению растекания.

Величина сопротивления заземления в зависимости от установки не должна превышать определённую величину, так как в противном случае обслуживание установки может сделаться небезопасным или сама установка может оказаться в условиях, на работу при которых она не рассчитана.

Все электрооборудование и электроника создаются исходя из нормированных величин сопротивления заземления - 0,5, 1, 2, 4,8, 10, 15, 30 и 60 Ом.

По ПУЭ в электроустановках до 1000 В с глухим заземлением нейтрали сопротивление заземляющих устройств должно быть не более 4 Ом. Для электроустановок выше 1000 В с большими токами замыкания на землю сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 0,5 Ом.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2 - 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока, должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

## **4.2 Устройство заземления**

Чтобы получить заземляющие устройства (рисунок 4.1) с малым сопротивлением, широко используются так называемые естественные заземли: водопроводные и иные трубы, проложенные в земле, металлические конструкции хорошо связанные с землей и т. п. Такие естественные заземлители могут иметь сопротивление порядка долей Ома и не требуют

специальных затрат на их устройство. Не допускается использовать в качестве естественных заземлителей нефтепроводы бензопроводы газопроводы и м подобные (рисунок 4.2).

В тех случаях, когда такие естественные заземлители отсутствуют, для заземляющих устройств приходится устраивать искусственные заземлители в виде заземляющих контуров,

Для искусственных заземлителей применяют отрезки угловой стали 50 мм. и длиной 2,5 – 3 метра, которые забивают вертикально в траншее глубиной 70 см., оставляя над поверхностью дна траншеи 10 см. заземлителя. К этим заземлителям приваривают, проложенную в траншее круглую сталь диаметром 10 – 16 мм. или полосовую сталь по всему контуру.

Заземляют следующие элементы оборудования распределительных подстанций:

- бак силового трансформатора;
- корпус электродвигателя;
- бак высоковольтного выключателя;
- металлические элементы шинных порталов, опорных конструкций разъединителей, отделителей и другого оборудования распределительных устройств;
- дверцы, ограждения, корпуса распределительных щитов, шкафов с оборудованием;
- металлическая броня кабельных линий независимо от назначения (силовых, вторичной коммутации), концевые и соединительные кабельные муфты с металлическим корпусом;
- вторичные обмотки трансформаторов тока и трансформаторов напряжения;
- металлические гладкостенные и гофрированные трубы, в которых прокладываются электропроводки и другие металлические корпуса действующего оборудования и устройств электроустановок.

Корпуса оборудования, опорные конструкции оборудования и т.д. заземляются при помощи жестких металлических шин. Заземляющие шины окрашиваются в черный цвет. В определенных местах на заземляющих шинах и на заземленных металлических элементах должны быть предусмотрены места установки переносных защитных заземлений. Данные места зачищаются, покрываются смазочным материалом для предотвращения окисления металла, возле данных мест устанавливается в виде готового знака или наносится краской знак заземления.

Переносные защитные заземления состоят из гибких медных проводников, присоединяющихся к заземленным и заземляемым элементам при помощи специальных зажимов. Переносные заземления играют роль заземляющих проводников, они применяются для заземления участков электрической сети для обеспечения безопасности при выполнении ремонтных работ, для заземления спецтехники, которая применяется для выполнения работ в пределах электроустановки или в непосредственной близости к линиям электропередач.

Подвижные элементы оборудования – дверцы шкафов, ограждения, стационарные заземляющие ножи разъединителей и др. для обеспечения надежного контакта с заземленным корпусом шкафа или опорной конструкцией соединяют гибкими медными проводниками.

Присоединение металлических заземляющих шин к заземляющимся конструкциям осуществляется посредством сварки. Подключение заземляющих шин к корпусам оборудования, в зависимости от его конструктивных особенностей может осуществляться как сваркой, так и при помощи болтовых соединений. Медные заземляющие проводники подвижных элементов оборудования подключаются к заземленным элементам болтовыми соединениями или пайкой, если требуется подключить медный проводник к металлической оболочке кабельной линии.

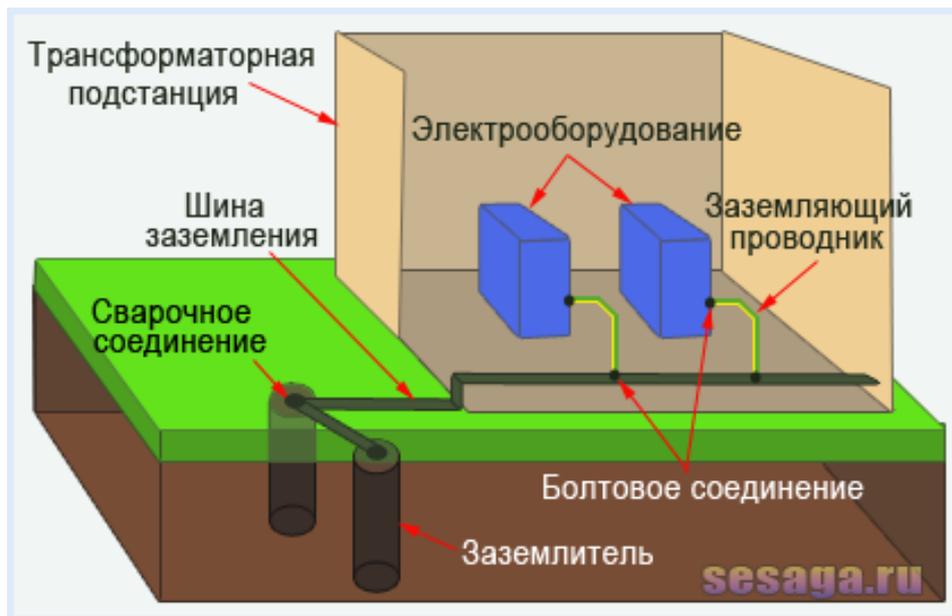


Рисунок 4.1 – Заземление на подстанции



Рисунок 4.2 – Заземление в здании

### 4.3 Периодичность измерения

Перед вводом в эксплуатацию и периодически (для цеховых установок - не реже одного раза в год, а для подстанций - одного раза в 3 года) проводят

испытания и измерения заземляющих устройств по программе «Правил устройства электроустановок».

По программе испытания производится измерение сопротивления заземляющего устройства. Сопротивление заземления может сильно меняться от различных причин, как, например, от состояния погоды (дождь или сухая погода), времени года и т. д. Поэтому важно периодически измерять величину сопротивления заземления.

#### **4.4 Проверка состояния заземляющего устройства**

Для проверки электрических установок на соответствие требованиям по защите от поражения электрическим током необходимо произвести измерение сопротивления заземляющего устройства. Это сопротивление позволяет определить значение напряжения прикосновения, которое может возникнуть при одновременном прикосновении к двум проводящим частям, находящимся под разными потенциалами, или к одной проводящей части, находящейся под напряжением, и к земле. Необходимость измерения удельного сопротивления грунта и сопротивления заземляющего устройства возникает уже на этапе проектирования и монтажа.

##### **4.4.1 Визуальная проверка заземляющего устройства**

Визуальная проверка проводится с целью проверки качества монтажа и соответствия сечения заземляющих проводников требованиям проекта и ПУЭ.

Измерение сечения проводников производится штангенциркулем. Измеренное сечение сравнивается с расчетным. Сечение заземляющих проводников  $S_{зп}$  должно быть не менее:

$$S_{зп} \geq \frac{I \cdot \sqrt{\tau + 0,1}}{60}, \quad (4.1)$$

где  $I$  — ток замыкания на землю, А;  $\tau$  — время отключения замыкания на землю, с (время действия основной защиты и время работы выключателя).

Снижение сечения из-за коррозии происходит в первую очередь непосредственно под поверхностью грунта. Поэтому при контроле заземляющего устройства в процессе эксплуатации обязательна выборочная проверка заземлителя со вскрытием грунта на глубину примерно 20 см. Коррозионные повреждения проводников на большей глубине, а также в сварных соединениях выявляются при измерениях напряжений прикосновения и проверке металlosвязей.

При визуальном контроле заземляющего устройства производится проверка и болтовых соединений. Болтовые соединения должны быть надежно затянуты, снабжены контргайкой и пружинной шайбой.

#### 4.4.2 Проверка контактных соединений и металlosвязей оборудования с заземляющим устройством

Контактные соединения необходимо проверять:

- в цепи заземления нейтралей трансформаторов;
- в цепи заземления короткозамыкателей;
- в местах соединения грозозащитных тросов с опорами и конструкциями ОРУ;
- в местах соединения заземляемого оборудования с заземляющим устройством.

Контактные соединения проверяются осмотром, простукиванием, а также измерением переходных сопротивлений мостами, микроомметрами и по методу амперметра-вольтметра.

Значение сопротивления контактов не нормируется, но практикой установлено, что качественное присоединение к заземлителю обеспечивается при переходном сопротивлении не более 0,05 Ом.

Проверка металlosвязей оборудования с заземляющим устройством как на рабочих, так и на нерабочих местах производится по схеме рис. 5. Если заземляющий проводник не подсоединен к ЗУ (нет связи), измеренное значение напряжения во много раз отличается от значений, измеренных на соседних корпусах оборудования.

На подстанциях напряжением 220 кВ и выше рекомендуется проверять сопротивление металlosвязи между заземлителем ОРУ и местом заземления нейтрали трансформатора. Это измерение в случае применения измерителя напряжения прикосновения производится по схеме, при которой выводы Т2, П2 прибора соединяются с точкой заземления нейтрали трансформатора, а выводы Т1, П1 соединяются с заземлителем ОРУ. Связь считается удовлетворительной, если сопротивление не превышает значения 0,2 Ом.

#### 4.4.3 Оценка коррозионного состояния

Локальные коррозионные повреждения заземляющих проводников выявляются при осмотрах (в основном со вскрытием грунта), а также при измерениях напряжения прикосновения и проверке металlosвязи.

Для сплошной поверхностной коррозии характерно равномерное, по всей поверхности проводника, проникновение в глубь металла с соответствующим уменьшением размеров поперечного сечения элемента. После механического удаления продуктов коррозии поверхность металла оказывается шероховатой, но без очевидных язв, точек коррозии или трещин.

Местная коррозия характеризуется появлением на поверхности проводника отдельных, может быть множественных повреждений в форме язв или кратеров, глубина и поперечные размеры которых соизмеримы и колеблются в пределах от долей миллиметра до нескольких миллиметров.

Количественная оценка степени коррозионного износа производится выборочно по участкам контролируемого элемента заземляющего устройства путем измерения характерных размеров, зависящих от вида коррозии. Эти размеры определяются после удаления с поверхности элемента продуктов коррозии.

При сплошной поверхностной коррозии характерными размерами являются линейные размеры поперечного сечения проводника (диаметр, толщина, ширина). Эти размеры измеряются штангенциркулем.

При местной язвенной коррозии измеряется глубина отдельных язв, например, с помощью штангенциркуля, а также площадь язв на контролируемом участке.

Элемент заземляющего устройства должен быть заменен, если разрушено более 50% его сечения.

#### **4.5 Условия проведения измерений**

Измерение сопротивления заземляющего устройства проводится в атмосферных условиях близких к нормальным:

температура окружающего воздуха от минус 25 ° С до +35 ° С

относительная влажность воздуха не более 90 %.

Измерения производятся в период наибольшего просыхания или промерзания грунта.

4.5.1 Измерение сопротивления заземления при помощи прибора 1820 ER.

Функциональные возможности и особенности Прибора 1820 ER (рисунок 4.3):

- Возможность измерения напряжения прикосновения;
- Тестовый ток 2 мА, что позволяет измерять сопротивление без отключения автоматов защиты в цепи заземления;

- В состав комплекта включены соединительные провода и измерительные штыри;
- Измерение сопротивления заземления можно проводить по 2-х (грубо) и 3-х проводной (точно) схеме;
- 3 цифровой ЖК индикатор (1820 ER), аналоговая шкала (1805 ER);
- Удержание показаний (1820 ER);
- Батарейное питание;
- Индикация разряда батареи;
- Простота, компактность, надёжность.



Рисунок 4.3 – Прибор 1820 ER

Вспомогательные устройства.



Рисунок 4.4 – Вспомогательные устройства в комплекте к устройству 1820 ER

Схемы подключения.

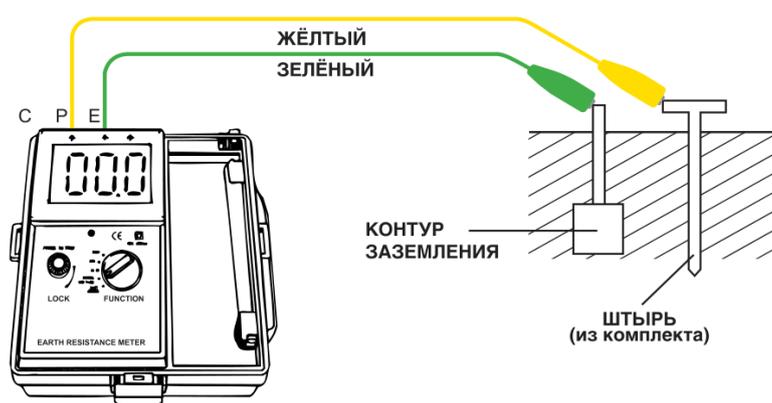


Рисунок 4.5 – Схема измерения напряжения прикосновения

При измерении сопротивлений отдельных заземлителей применяют трехполюсный метод измерения сопротивления, который заключается в забивке в грунт двух измерительных электродов (токовый электрод Н и электрод напряжения S) вблизи заземляющего устройства по однолучевой схеме.

Электрод напряжения (S) помещают между измеряемым заземляющим устройством и токовым электродом (Н), в пространстве нулевого потенциала. Приборы измеряют величину протекающего тока в созданной цепи и напряжение между исследуемым заземлителем и электродом напряжения. Результатом измерения является величина сопротивления заземляющего устройства.

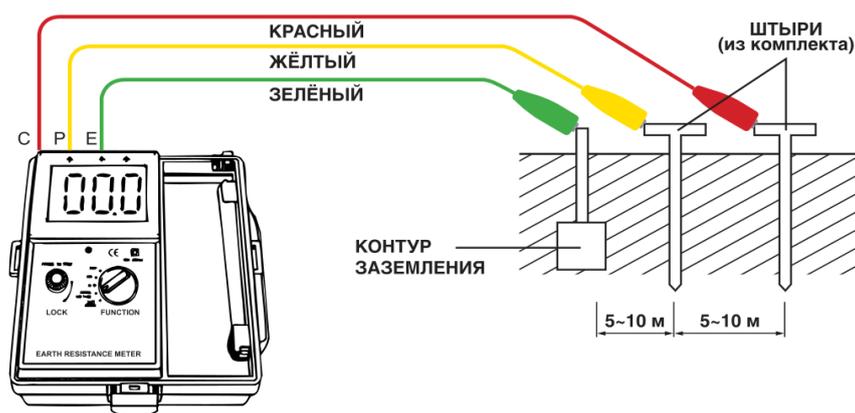


Рисунок 4.6 - Схема измерения сопротивления заземления (режим ТОЧНО)

В случае, когда установка штырей невозможна, измерение проводится по двухпроводной схеме с использованием штыря контура заземления.

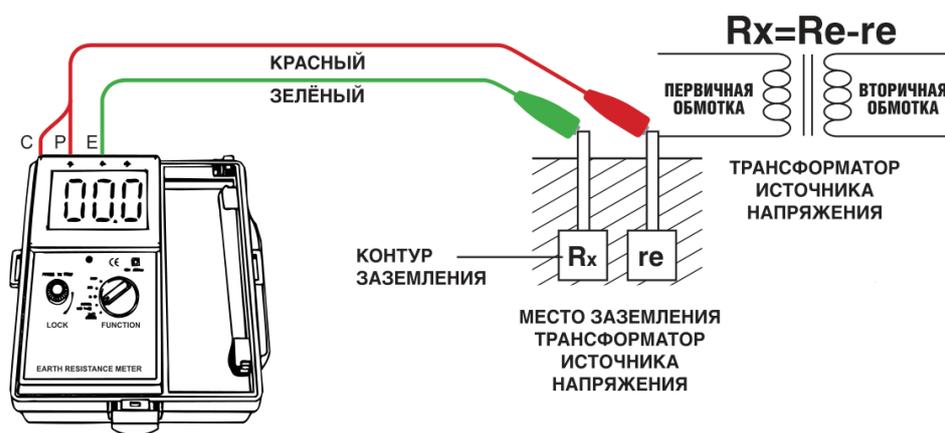


Рисунок 4.7 - Схема измерения сопротивления заземления (режим ГРУБО)

$R_x$  – истинное значение сопротивления заземления

$R_e$  – измеренное значение сопротивления заземления

$r_e$  – сопротивление штыря контура заземления

#### 4.5.2 Обработка и вычисление результатов измерений.

Наибольшее сопротивление заземлитель имеет, летом при наибольшем пересыхании земли или зимой при наибольшем промерзании. Если измеренное сопротивление:

$$R_z \geq K_c \cdot R_{\text{изм}}, \quad (4.1)$$

где  $K_c$  — сезонный коэффициент сопротивления заземлителя.

Сезонный коэффициент  $K_c$  зависит не только от месяца, когда производятся измерения, но и от конкретных погодных условий, от характера грунта в месте проведения измерений.

Если измеренное сопротивление превышает норму, то следует проверить, все ли естественные заземлители подключены. Если и

естественные заземлители не обеспечивают нужных показателей, то требуется измерить в разных местах электроустановки удельное сопротивление грунта. При удельном сопротивлении  $\rho$  грунта более 100 Ом/м. Допускается увеличивать указанные нормы в  $0,01\rho$  раз, но не более десятикратного.

При проверке цепи между заземлителями и заземленными элементами значения сопротивления, полученные при измерениях, заносятся в рабочую тетрадь с последующей записью в протокол. Пример протокола в Приложении Г.

Таблица 4.1 – Поправочные коэффициенты к значению измеренного сопротивления заземлителя.

Тип заземлителя	Размеры заземлителя	t=0,7-0,8 м			t=0,5 м		
		K1	K2	K3	K1	K2	K3
Горизонтальная полоса	L=5 м	3,6	3,0	2,5	6,5	5,2	3,8
	L=20 м	3,6	3,0	2,5	6,5	5,2	3,8
Заземляющая сетка или контур	S=400 м <sup>2</sup>	2,6	2,3	2,0	4,6	3,8	3,2
	S=900 м <sup>2</sup>	2,2	2,0	1,8	3,6	3,0	2,7
	S=3600 м <sup>2</sup>	1,8	1,7	1,6	3,0	2,6	2,3
Заземляющая сетка или контур с вертикальными электродами длиной до 5 м	S=900 м <sup>2</sup> N>10 шт.	1,6	1,5	1,4	2,1	1,9	1,8
	S=900 м <sup>2</sup> N>15 шт.	1,5	1,4	1,3	2,0	1,9	1,7
Одиночный вертикальный заземлитель	L=2,5 м	2,0	1,75	1,5	3,8	3,0	2,3
	L=3,5 м	1,6	1,4	1,3	2,0	1,9	1,6
	L=5 м	1,3	1,23	1,15	1,6	1,45	1,3

В таблице 4.1 K1 - применяется, когда измерение производится при влажном грунте или моменту измерения предшествовало выпадение большого количества осадков;

K2 - когда измерение производится при грунте средней влажности или моменту измерения предшествовало небольшое количество осадков;

K3 - когда измерение производится при сухом грунте или моменту измерения предшествовало выпадение незначительного количества осадков.

$t$  - глубина заложения в землю горизонтальной части заземлителя или верхней части вертикальных заземлителей;

$L$  - длина горизонтальной полосы или вертикального заземлителя;

$S$  - площадь заземляющей сетки или контура;

$N$  - количество вертикальных электродов.

#### **4.6 Вопросы для самоподготовки:**

1 Знать определения: Защитное заземление, напряжение прикосновения, естественные заземлители, искусственные заземлители, переносные защитные заземления

2 Конструкция защитного заземления

3 Периодичность измерения заземления

4 Проверка состояния заземляющего устройства. Визуальная проверка

5 Проверка состояния заземляющего устройства. Проверка контактных соединений

6 Проверка состояния заземляющего устройства. Оценка коррозионного состояния

7 Конструкция прибора 1820 ER. Схема подключения для измерения напряжения прикосновения.

8 Схемы подключения 1820 ER я для измерения сопротивления заземления в режиме грубо и точно

## **5 Лабораторная работа № 6. Измерение петли фаза-ноль**

Цель работы: Измерения сопротивления петли "фаза-ноль" и токов однофазных замыканий проводится с целью проверки временных параметров срабатывания устройств защиты электрооборудования от сверхтоков при замыкании фазы на корпус. При выполнении данной лабораторной работы необходимо освоить и закрепить знания о цепи фаза-ноль, изучить прибор MZC-300 и работу с ним, выполнить замер цепи фаза-ноль для проверки исправности автоматических выключателей, составить отчет о проделанной работе.

### **5.1 Основные сведения**

Повышенное сопротивление сети и работа на предельно допустимых токах существенно повышает износ установленного оборудования и в несколько раз увеличивает вероятность аварии или его досрочного выхода из строя. Короткое замыкание в электрической цепи вследствие механического повреждения изоляции кабеля или в результате необратимых процессов при естественном старении приводит к мгновенному повышению величины тока и быстрому нагреву проводников. При этом начинает плавиться и гореть изоляция. Нескольких секунд до момента срабатывания защиты может хватить для повреждения и возгорания кабеля, а затем и воспламенения соседних кабелей. Такая ситуация грозит пожаром даже при последующем обесточивании поврежденной цепи. Разумеется, чем быстрее сработает выключатель автоматической защиты, тем меньшие повреждения будут нанесены электрическому оборудованию и тем меньшему риску подвергнется жизнь и здоровье людей.

В электроустановках с заземленной нейтралью нулевой проводник соединен с нейтралью понижающего трансформатора, которая объединена с

контуром заземления. При аварийном замыкании фазы на фазу, на корпус или нейтральный провод возникает новая электрическая цепь – так называемая петля короткого замыкания.

Петлём фаза-ноль называют контур, образованный при соединении фазного проводника L на нулевой рабочий проводник N или защитный проводник PE. Т.е. получается, что эта петля состоит из электрической цепи фазного проводника L и нулевого рабочего проводника N, либо из электрической цепи фазного проводника L и защитного проводника PE, которая обладает своим сопротивлением.

В значение сопротивления петли фаза-ноль входит сопротивление обмоток питающего трансформатора, фазного проводника L и нулевого (защитного) проводника N (PE), переходных сопротивлений силовых контактов автоматических выключателей, рубильников, контакторов и др.

Для проверки соответствия нормативу времени срабатывания защитных устройств (автоматических выключателей), реагирующих на ток короткого замыкания, проводится измерение полного сопротивления петли «фаза-ноль» или токов однофазных замыканий. После измерения сопротивления петли «фаза – ноль» производится расчётная проверка тока короткого замыкания и сравнение полученного тока с током срабатывания автоматического выключателя или другого устройства, защищающего данный участок сети. При прямых измерениях однофазных токов короткого замыкания время срабатывания защитных аппаратов определяется по измеренной величине этого тока.

Самостоятельному расчёту сопротивления петли фаза-ноль мешают следующие факторы:

а) переходные сопротивления всех коммутационных аппаратов (автоматических выключателей, предохранителей, рубильников, разъединителей, контакторов и др.);

б) точный путь тока в аварийном режиме (металлические конструкции, водопроводы, трубопроводы, контур заземления, повторное заземление).

При измерении сопротивления петли фаза-ноль специальным прибором, все вышеперечисленные факторы учитываются автоматически.

Существует несколько методов измерения сопротивления петли короткого замыкания:

- метод падения напряжения в отключенной цепи;
- метод падения напряжения на нагрузочном сопротивлении;
- метод короткого замыкания цепи.

Для измерения полного сопротивления (импеданса) петли короткого замыкания компания Sonel применяет технический метод создания «искусственного короткого замыкания». Прибор серии MZC измеряет напряжение сначала без нагрузки, а затем при кратковременной нагрузке резистором 10 Ом (номинал варьируется между моделями) в течение 30 мс.

Метод падения напряжения на нагрузочном сопротивлении рекомендован приложением D1 стандарта ГОСТ Р 50571.16-99.

Полное сопротивление петли короткого замыкания содержит активную и реактивную составляющие сопротивления и рассчитывается на основе разницы падений напряжения по формуле:

$$Z_S = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \quad (5.1)$$

где  $Z_S$  – полное сопротивление (импеданс),

$R$  – активное сопротивление,

$X_L$  – индуктивная составляющие реактивного сопротивления  $X$ ,

$X_C$  – емкостная составляющие реактивного сопротивления  $X$ .

Полное сопротивление петли короткого замыкания должно быть как можно меньше, тогда ток короткого замыкания в цепи будет наибольшим и защита сработает быстрее. При межфазном замыкании ток в контуре будет больше, чем при однофазном замыкании. По полученному значению импеданса рассчитывают значение тока короткого замыкания.

Условия исправной защиты описаны формулой:

$$Z_S = \frac{U_n}{I_A}, \quad (5.2)$$

где  $Z_S$  – импеданс петли короткого замыкания,

$I_A$  – ток срабатывания защиты при токе перегрузки за определенное время (зависит от характеристики тока во времени, типа применяемой защиты и времени выключения),

$U_n$  – номинальное напряжение сети.

Величина тока однофазного короткого замыкания может быть получена расчетным путем по нижеприведенной формуле, или же рассчитана прибором автоматически.

$$I_{кз} = \frac{U_{ном}}{Z_{п}}, \quad (5.3)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное фазное напряжение питающей сети

$Z_{п}$  – полное сопротивление петли фаза-ноль

Рассчитанный или измеренный ток короткого замыкания сравнивают с уставкой автоматического выключателя (либо тепловой, либо электромагнитной).

Из вышеприведенных формул и диаграммы становится понятно, почему необходимо измерять именно импеданс, т.е. ПОЛНОЕ сопротивление петли короткого замыкания. Определение только резистивной составляющей, т.е. активного сопротивления цепи, занижает фактическое значение, вследствие чего расчет тока срабатывания приведет к ошибочному результату и ложному выводу о соответствии параметров защиты! В действительности, в случае значительного индуктивного сопротивления петли короткого замыкания (например, обмотка питающего трансформатора, длинная кабельная линия) ток срабатывания, рассчитанный на основании только значения активного сопротивления, может оказаться недостаточным для обеспечения требуемого времени срабатывания защиты, что неминуемо подвергнет риску жизнь людей в аварийной ситуации.

Проведение измерений сопротивления петли фаза-ноль в электроустановках до 1000 В регламентировано пунктом 28.4 таблицы 28 Правил технической эксплуатации электроустановок потребителя (ПТЭЭП) при проверке срабатывания защиты в сетях с заземленной нейтралью (TN-C, TN-C-S, TN-S) и проводится раз в два года (п. 2.7.16), а также после каждой перестановки и монтажа нового электрооборудования перед его включением (п. 2.7.17).

Проверка осуществляется путем непосредственного измерения тока однофазного короткого замыкания с помощью специальных приборов или измерением полного сопротивления петли фаза-ноль с последующим определением тока короткого замыкания.

Следует учитывать увеличение сопротивления, вызванное повышением температуры при нагреве проводников от тока короткого замыкания, т.к. обычно измерения проводят при комнатной температуре и малых токах. Для оценки соответствия времени срабатывания защитного устройства нормативу можно применить эмпирическую формулу:

$$Z_S = \frac{2 \cdot U_0}{3 \cdot I_A}, \quad (5.4)$$

где  $Z_S$  – измеренное значение импеданса петли короткого замыкания «фаза–нуль»,

$I_A$  – ток срабатывания автоматической защиты при токе перегрузки за нормативное время,

$U_0$  – фазное напряжение сети.

Если измеренная величина полного сопротивления петли «фаза–нуль» превышает  $2U_0/I_A$ , то необходимо провести измерение еще раз более точно в следующей последовательности:

- измерить полное сопротивление петли «фаза–нуль» источника питания  $Z_e$  на вводе электроустановки;

- провести отдельные измерения сопротивления фазного и защитного проводников сети от ввода до распределительного пункта или щита управления, а затем от распределительного пункта или щита управления до электроприемника;

- увеличить значения сопротивлений фазного и нулевого защитного проводников для учета повышения температуры проводников при протекании по ним тока замыкания, также принимая во внимание величину тока срабатывания автомата защиты;

- добавить увеличенные значения сопротивлений проводников к величине сопротивления петли «фаза—нуль» источника питания  $Z_e$ .

В результате получим реальную величину  $Z_s$  в условиях замыкания.

Заключение об измерении петли фазы-ноль делают согласно нормативно-техническим документам ПТЭЭП и ПУЭ.

## 5.2 Критерии соответствия нормам электробезопасности

Величина тока однофазного короткого замыкания при замыкании на корпус или нулевой рабочий проводник должна составлять не менее:

3-х кратного значения номинального тока плавкой вставки предохранителя;

3-х кратного значения номинального тока нерегулируемого расцепителя;

3-х кратной уставки тока срабатывания регулируемого расцепителя автоматического выключателя с обратозависимой от тока характеристикой.

Согласно ПУЭ, в электроустановках до 1000В с глухозаземлённой нейтралью для обеспечения автоматического отключения аварийного участка, проводимость фазных и нулевых рабочих и защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой проводник возникал ток короткого замыкания, который обеспечивает время автоматического отключения напряжения, не превышающего указанных значений в таблице 5.1:

Таблица 5.1 – Время отключения в электроустановках до 1000 В с глухозаземлённой нейтралью

Номинальное фазное напряжение $U_0$ (В)	Время отключения (секунд)
127	0,8
220	0,4
380	0,2
более 380	0,1

Такие значения времени отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых цепях, питающих передвижные и переносные электроприемники и ручной электроинструмент.

В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и др. щиты и щитки, время отключения не должно превышать 5 секунд.

Допускаются значения времени отключения более указанных в приведенной выше таблице, но не более 5 с в цепях, питающих только стационарные электроприемники от распределительных щитов или щитков при выполнении одного из следующих условий:

$$Z_S = 50 \cdot \frac{Z_S}{U_0}, \quad (5.5)$$

где 50 – это величина падения напряжения на участке защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком, В;

$Z_S$  – полное сопротивление цепи «фаза-нуль», Ом;

$U_0$  – номинальное фазное напряжение цепи, 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.

В системе IT время автоматического отключения питания при двойном замыкании на открытые токопроводящие части должно соответствовать значениям, приведенным в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Время автоматического отключения питания при двойном замыкании в системе IT

Номинальное линейное напряжение $U_0$ (В)	Время отключения (секунд)
220	0,8
280	0,4
660	0,2
более 660	0,1

### 5.3 Описание прибора MZC-300

Для измерения петли фаза-ноль используется электроизмерительный прибор MZC-300 от фирмы Sonel, который работает по методу падения напряжения на нагрузочном сопротивлении. Этот метод рекомендуется к использованию ГОСТ 50571.16-99. прибор иллюстрирован на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2 – Прибор MZC-300

Прибор MZC-300 производит расчет ожидаемого тока короткого замыкания на основании полного сопротивления петли короткого замыкания. Поэтому он рекомендован для измерений в электроустановках, в которых погрешность, вызванная пренебрежением реактивным сопротивлением, может иметь существенное значение. В основном - в электроустановках зданий.

Характеристики измерителя MZC-300:

- 1) измерение активного, реактивного и полного сопротивления петли "фаза-нуль";
- 2) автоматический расчёт значения ожидаемого тока короткого замыкания для номинального напряжения сети;
- 3) определение угла между векторами силы тока и напряжения в момент короткого замыкания;
- 4) контроль целостности проводов;
- 5) оценка сопротивления заземляющих устройств;
- 6) измерение действующего значения напряжения переменного тока;
- 7) проведение измерений без отключения источника питания и защит;
- 8) время протекания измерительного тока 30 мс;
- 9) автоматический выбор диапазона измерений;
- 10) автоматическое самовыключение при простое в течение 120 секунд;
- 11) внесение в память результата последнего измерения;
- 12) автокалибровка измерительных проводов, дающая возможность применять провода различной длины.

Технические характеристики прибора представлены в таблице приложения.

## 5.4 Практическая часть

### 5.4.1 Внешний осмотр

Перед измерениями необходимо провести тщательный внешний осмотр:

- a) силовых сборок и щитов
- b) однолинейной принципиальной схемы электроснабжения
- c) номинальных токов автоматических выключателей и предохранителей
- d) сечений отходящих линий
- e) аппаратов защиты на наличие механических повреждений

### 5.4.2 Измерение петли фаза-ноль

Перед измерением необходимо проверить плотность соединения проводов к аппаратам защиты. Если провода не протянуты — то смысла измерения нет, т.к. полученные показатели получатся не достоверными.

Замер петли фаза-ноль производится на самой удаленной точке измеряемой линии. Если же проблематично определить самую дальнюю точку линии, то проводим измерение по всем точкам этой линии.

Для проведения измерения параметров петли короткого замыкания в цепи L-N или другим необходимо подключить измерительный прибор по соответствующей схеме.

После появления на дисплее сообщения о готовности, необходимо нажать кнопку запуска измерения START. Приборы серии MZC и MPI проводят измерение в автоматическом режиме. На дисплее отображается измеренное значение  $Z_s$  и рассчитанный ток короткого замыкания  $I_{к.з.}$

При необходимости, можно дополнительно провести измерение полного сопротивления петли короткого замыкания L-PE. В этом случае используют схему при наличии УЗО. Более подробно порядок работы с приборами изложен в руководстве по эксплуатации.

### 5.4.3 Особенности измерения

#### Измерение под напряжением

Измерители параметров петли производят измерения в линиях, находящихся под напряжением. Коммутация эталонного резистора осуществляется через тиристорный блок (на полупериод промышленной частоты — 10 мс); применение быстродействующего АЦП (аналого-цифрового преобразователя) позволяет реализовать данный метод измерения с высокой точностью. Угол между напряжением и током в исследуемой сети по модулю (при отставании или опережении тока) должен быть не более 180.

Преимущества косвенного метода измерения:

- нет необходимости в постороннем источнике питания;
- результатом являются реальные значения сопротивления петли короткого замыкания от места подключения измерителя и ожидаемого тока короткого замыкания;
- питающий трансформатор не исключается из схемы электроснабжения на время измерения;
- осуществляется контроль действующего значения напряжения в процессе измерения.

#### Вычисление тока

Ожидаемый ток короткого замыкания рассчитывается по отношению к номинальному напряжению сети по формуле:

$$I_R = \frac{U_{\text{НОМ}}}{R_S} \quad (5.6)$$

Отклонение напряжения сети от номинального вызовет линейное отклонение рассчитанного тока от действительного.

Перед выполнением измерения активного сопротивления автоматически проверяется целостность измеряемых цепей. Контроль целостности проводников происходит в течение 10 мс током с максимальной величиной 35 мА. После того как установлено, что сопротивление цепи менее 3 кΩ происходит процесс измерения активного сопротивления сети большим испытательным током. Отсутствие целостности цепи сигнализируется на дисплее и звуковым сигналом. Этот факт можно использовать для контроля целостности контура.

Величина сопротивления заземляющего устройства измеряется через петлю «фаза-ноль». Источником напряжения служит фазный провод, измерительный ток зависит от величины токоограничивающего резистора. При оценке величины сопротивления заземления необходимо помнить о завышенных результатах измерения:

$$R_S = R_U + R_r + R_{\text{ист}} + R_{\text{фазы}} \quad (5.7)$$

В приборах MZC, MIE, MPI соблюдение правильности подключения фазного провода к зажиму L, а нейтрального провода к зажиму N не является обязательным, так как измеритель автоматически идентифицирует подключенные провода и в случае необходимости самостоятельно переключит зажимы.

В приборах MZC-303E, MPI-511 функции RCD применяется для измерения параметров цепи «фаза-защитный провод» без обязательного срабатывания УЗО с номинальным током не менее 30 мА. Прибор производит измерение сопротивления петли короткого замыкания в диапазоне от 0 до 1999 Ω. При этом выполняется серия искусственных замыканий (каждое из них длится 20 мс) с измерительным током не более 15 мА. Время выполнения всего измерения составляет около 10 секунд. Применение такого большого диапазона измерения вызвано вероятностью значительных величин полного сопротивления петли

L — PE в электроустановках с выключателями дифференциального тока. Величина сопротивления заземления (наибольшая составляющая полного сопротивления цепи L — PE) должна быть в этом случае такова, чтобы произошло срабатывание дифференциального выключателя при появлении недопустимого напряжения прикосновения. Например, полное сопротивление цепи L — PE для выключателя дифференциального тока с номинальным током 30 мА в электроустановке с допустимым напряжением прикосновения 50 В будет равным 1666  $\Omega$ . Данная величина превышает возможности диапазонов измерения 200  $\Omega$ .

Почти все приборы при измерении напряжения показывают значение, которое предлагается рассматривать как эффективное значение входного сигнала. Однако в некоторых приборах зачастую измеряется среднее абсолютное или максимальное значение сигнала, а шкала градуируется так, чтобы показание соответствовало эквивалентному эффективному значению в предположении, что входной сигнал имеет синусоидальную форму.

Не следует упускать из виду, что точность таких приборов крайне низка, если сигнал содержит гармонические составляющие. Для измерения тока с искаженными кривыми необходимо при помощи анализатора кривой сигнала проверить форму синусоиды, после чего использовать измеритель с усреднением показаний только в том случае, если кривая окажется действительно идеальной синусоидой. Или же можно постоянно использовать измеритель с истинно среднеквадратическими показаниями и не проверять параметры кривой.

Современные измерители подобного типа используют усовершенствованные технологии измерения, позволяющие определить реальные эффективные значения переменного тока и напряжения вне зависимости от того, является ли токовая кривая идеальной синусоидой или имеет гармонические искажения. Приборы Sonel типа MZC-310S, REN-700, CMP-1000, MPI-511 относятся к измерителям класса TRUE RMS.

Схемы подключения приведены на рисунках 5.3-5.7

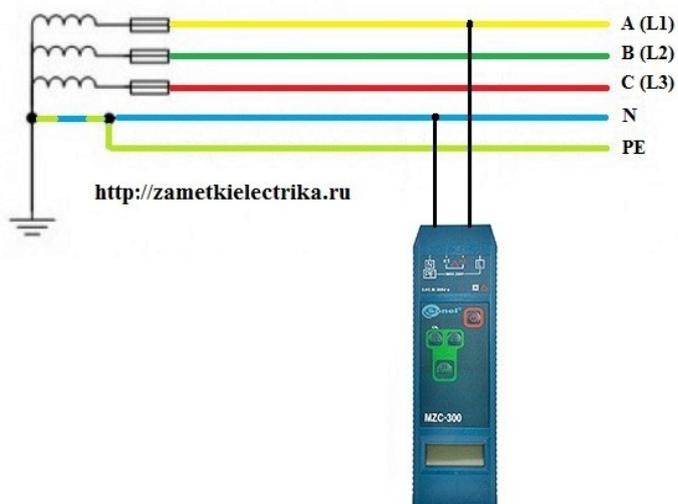


Рисунок 5.3 – Схема измерение в рабочей цепи A (L1) — N

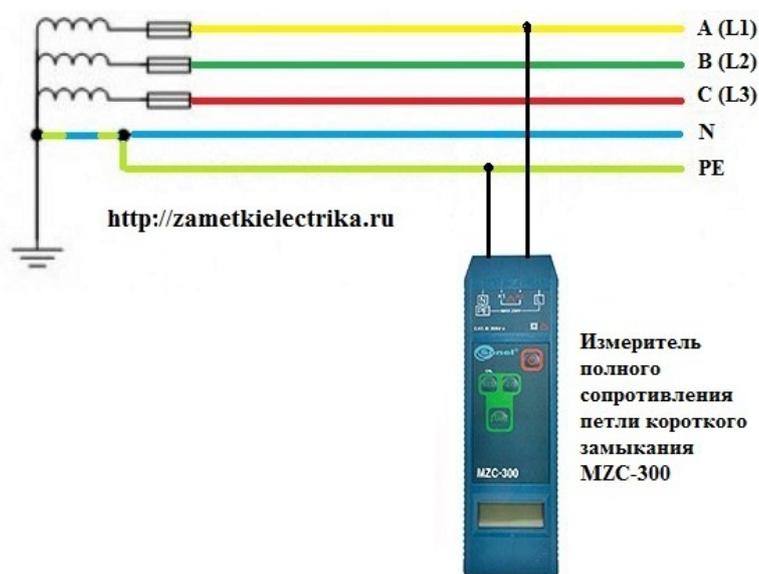


Рисунок 5.4 – Схема измерение в защитной цепи A (L1) — PE

При проверке состояния защиты электроустановки от замыкания на корпус прибор подключают к заземляющей клемме корпуса и фазному проводу.

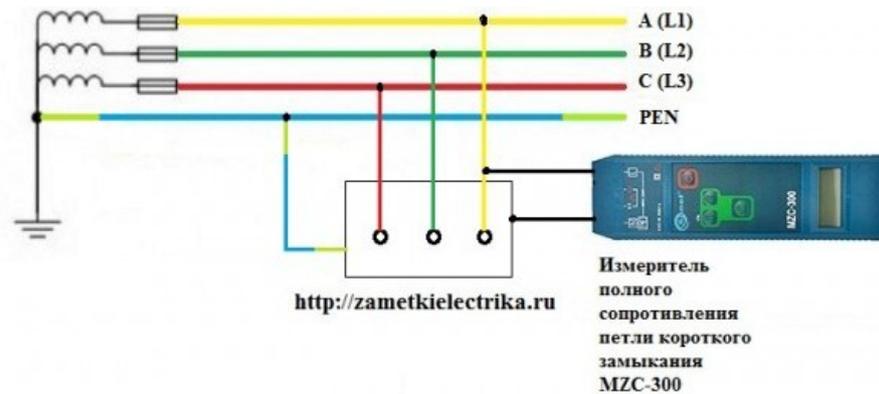


Рисунок 5.5 – Проверка защиты от замыкания на корпус электрооборудования в системе заземления TN

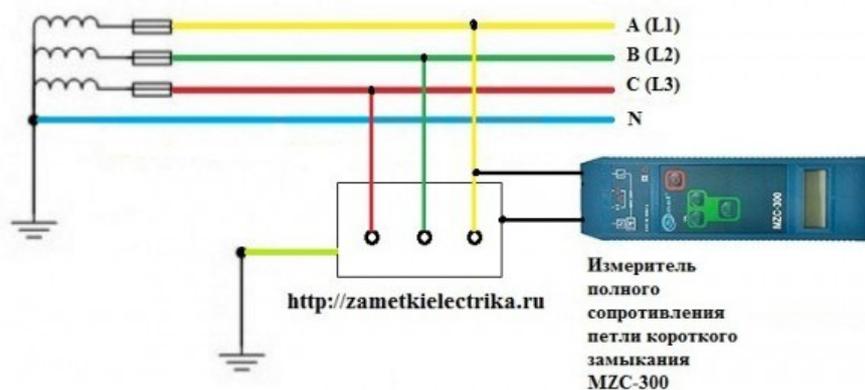


Рисунок 5.6 – Проверка защиты от замыкания на корпус электрооборудования в системе заземления TT

Если в проверяемой цепи имеются выключатели УЗО, то на время измерения необходимо их шунтировать при помощи обводов или мостов. Следует 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. Можно использовать режим для измерения ZL-PE RCD без шунтирования выключателей УЗО, если они рассчитаны на дифференцированный ток не ниже 30 мА.

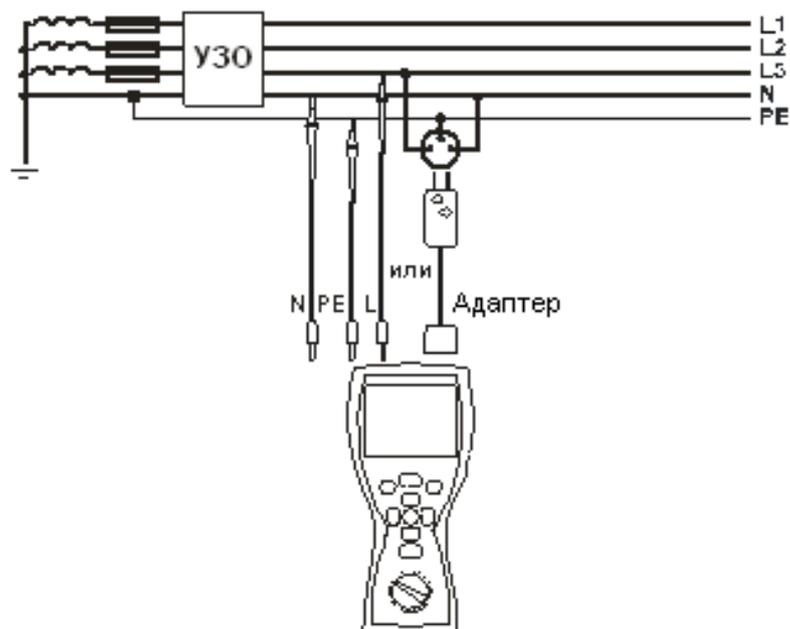


Рисунок 5.7 – Схема подключения прибора для измерения петли L-PE с УЗО

Выполнив замер петли фаза-ноль по вышеприведенным схемам, на дисплее прибора отразится величина однофазного тока короткого замыкания. Измеренные величины записываем в расчетную таблицу.

Это значение сравниваем по время - токовым характеристикам с током срабатывания расцепителя автоматического выключателя или с плавкой вставкой предохранителя, и делаем соответствующее заключение.

Для удобства правильного и верного заключения необходимо внимательно прочитать выдержки из ПТЭЭП и ПУЭ 7 издания, которые иллюстрированы на рисунках Б.1 и Б.2 приложения Б.

## 5.5 Оформление результатов измерений, оценка и рекомендации

Протокол результатов измерений должен содержать:

- дату измерений;
- сведения о работнике, выполняющем измерения;

- сведения об измерительном приборе и сроке поверки;
- наименование, тип, заводской номер оборудования;
- номинальные данные сети (объекта) испытаний;
- используемую измерительную схему;
- температуру, влажность и давление;
- результаты измерений с указанием погрешностей.

В протоколе указывают характеристики, тип установленных автоматических выключателей защиты и результаты вычислений. После вычисления тока однофазного короткого замыкания (или считывания расчетного значения на дисплее прибора MZC) необходимо определить время срабатывания защитного автомата по его токовременной характеристике. На основании анализа результатов измерений и параметров соответствующих автоматических выключателей, делается вывод о соответствии результатов измерений требованиям ПУЭ и ПТЭЭП.

Пример работы с время токовой характеристикой автоматического выключателя типа С16, выполненного в соответствии с ГОСТ Р 50345-99 представлен на рисунке 5.8.

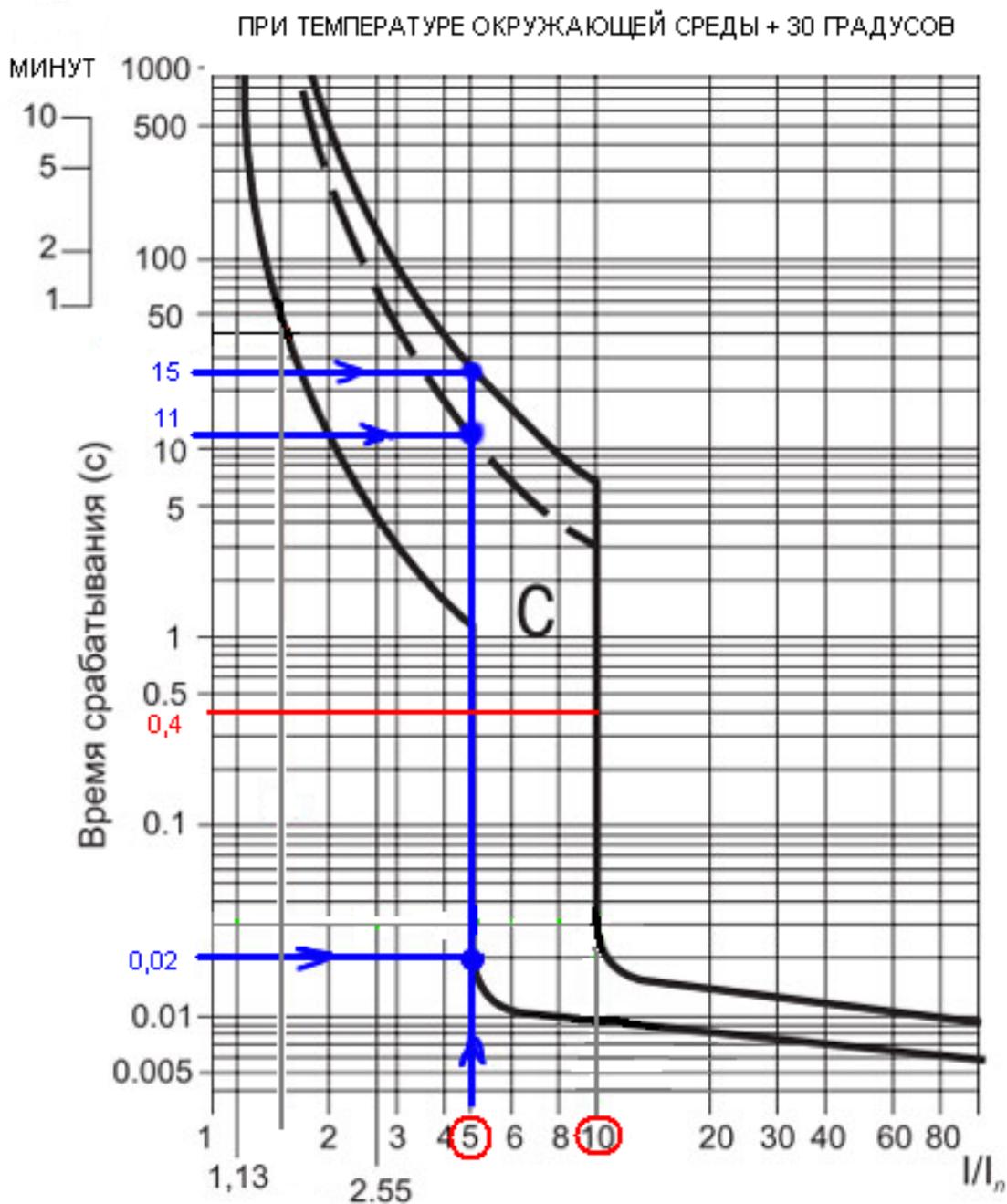


Рисунок 5.8 – Время токовая характеристика автоматического выключателя С16

На графике можно увидеть зависимость, как протекающий через автоматический выключатель ток влияет на время его отключения. Кратности тока, протекающего в цепи к номинальному току автомата ( $I/I_n$ ),

отмечены на оси  $X$ , а время срабатывания в секундах – на оси  $Y$ . В состав автоматического выключателя входит электромагнитный и тепловой расцепитель. Поэтому график можно разделить на два участка: верхняя крутая часть графика показывает защиту от перегрузки (работу теплового расцепителя), а более пологая часть внизу - защиту от короткого замыкания (работа электромагнитного расцепителя). На токи большой величины, которые могут привести к повреждению изоляции электропроводки автомат способен реагировать практически мгновенно благодаря наличию электромагнитного расцепителя. Время срабатывания зависит также и от температуры автомата защиты. Автоматический выключатель отключится быстрее, если его термочувствительная биметаллическая пластина будет разогрета. Поэтому на графике верхняя кривая характеризует холодное состояние автомата защиты, а нижняя кривая - его горячее состояние, который только что был в работе или сразу же после его срабатывания.

Пунктирной линией обозначен предельный ток срабатывания для автоматов до 32 А.

Определённый (измеренный, рассчитанный) ток однофазного короткого замыкания откладывается на время токовой характеристике в виде вертикальной прямой линии (на рисунке – линия синего цвета). Зона токов правее синей линии обеспечивает срабатывание автоматического выключателя со временем менее 0,4 с (отрезок красной линии, заключенный между вертикальными линиями синего и черного цвета, соответствует кратностям тока в красных кружках). Таким образом, для автоматического выключателя с характеристикой типа C16 время срабатывания автоматического выключателя составит 0,02 с при токе короткого замыкания, превышающем  $5I_n = 5 \times 16 \text{ А}$  (сработает электромагнитный расцепитель). Если мы определяем время срабатывания автоматического выключателя при длительной перегрузке с обратнозависимой выдержкой времени, то в этом случае считаем, что наиболее вероятно срабатывание теплового расцепителя (синие стрелочки между 11 и 15 секундами).

При полученные результаты измерения показали, что АВ, который установлен в силовом щитке, не может надежно защитить объект, то проверяем контактные соединения. В случае отрицательного результата после принятия данных мер, необходимо прибегнуть к увеличению сечения силового кабеля. Значение сопротивления кабеля с большим сечением будет ниже предыдущего, соответственно это обеспечит необходимую кратность автомата. В случае, если нет возможности заменить кабель или это невыполнимо по техническим причинам, следует использовать автомат с более низким номинальным током срабатывания, которые будет соответствовать измеренным значениям.

### **5.6 Вопросы для самоподготовки:**

- 1 Что такое петля фаза-ноль. Зачем необходимо измерять значение сопротивления петли фаза-ноль?
- 2 методы измерения сопротивления петли короткого замыкания. Учет повышения температуры при протекании тока КЗ
- 3 Критерии соответствия нормам электробезопасности
- 4 Конструкция и характеристики прибора
- 5 Порядок проведения измерений петли фазы ноль. Особенности измерения.
- 6 Схемы подключения прибора для разных систем заземления
- 7 Интерпретация результатов

## Список использованных источников

1. Сибикин, М.Ю. Профилактическое обслуживание электроустановок потребителей : учебное пособие для студентов высших и средних учебных заведений / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2017. – 392 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481016> (дата обращения: 11.12.2019). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9361-2. – DOI 10.23681/481016. – Текст : электронный.
2. Левин, В.Е. Вибродиагностика машин и механизмов : учебное пособие / В.Е. Левин, Л.Н. Патрикеев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2010. – 108 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228972> (дата обращения: 11.12.2019). – ISBN 978-5-7782-1433-0. – Текст : электронный.
3. Эксплуатация, диагностика, ремонт и утилизация транспортных средств специального назначения : курс лекций : в 2 ч. / А.В. Лысянников, Ю.Г. Серебренникова, В.Г. Шрам и др. ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Сибирский Федеральный университет. – Красноярск : СФУ, 2016. – Ч. 2. Техническое обслуживание и текущий ремонт транспортных средств специального назначения. – 186 с. : ил.,табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=497146>(дата обращения: 11.12.2019). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7638-3430-7. – Текст : электронный.
4. Основы безопасной эксплуатации технологического оборудования химических производств / В.Я. Борщев, Г.С. Кормильцин, М.А. Промотов, А.С. Тимонин ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 188 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=278002> (дата обращения: 11.12.2019). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-8265-1051-3. – Текст : электронный.

5. Привалов, Е.Е. Диагностика электроэнергетического оборудования : учебное пособие / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 227 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428595> (дата обращения: 11.12.2019). – Библиогр.: с. 196-199. – ISBN 978-5-4475-4653-3. – DOI 10.23681/428595. – Текст : электронный.

6. Привалов, Е.Е. Тепловизионная диагностика электроэнергетического оборудования : учебное пособие / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 64 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=276300> (дата обращения: 11.12.2019). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-3704-3. – DOI 10.23681/276300. – Текст : электронный.

7. Привалов, Е.Е. Диагностика внешней изоляции электроэнергетического оборудования : учебное пособие / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 70 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=276296> (дата обращения: 11.12.2019). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-3705-0. – DOI 10.23681/276296. – Текст : электронный.

8. Бурашников, Ю.М. Производственная безопасность на предприятиях пищевых производств : учебник / Ю.М. Бурашников, А.С. Максимов, В.Н. Сысоев. – Москва : Дашков и К°, 2016. – 520 с. : ил. –

Режим доступа: по подписке. –  
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453422> (дата обращения: 11.12.2019). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-394-00966-2. – Текст : электронный.

9. Эксплуатация линий распределительных сетей систем электроснабжения : учебное пособие / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош ; под ред. Е.Е. Привалова. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 205 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493603> (дата обращения: 11.12.2019). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9695-8. – DOI 10.23681/493603. – Текст : электронный.

10. Привалов, Е.Е. Диагностика вентильных разрядников электроэнергетического оборудования : учебное пособие / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 64 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=276295> (дата обращения: 11.12.2019). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-3706-7. – DOI 10.23681/276295. – Текст : электронный.

11. Левин, В.М. Диагностика и эксплуатация оборудования электрических сетей : учебное пособие / В.М. Левин. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2011. – Ч. 1. – 116 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228919> (дата обращения: 11.12.2019). – ISBN 978-5-7782-1597-9. – Текст : электронный.

## Приложение А (обязательное)

### Технические характеристики MZC-300

Таблица А.1 – Технические характеристики прибора

<b>ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА</b>		
Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
0 ... 250 В	1 В	± (2% и.в + 2 ед. мл. разряда)
Входное сопротивление вольтметра: $\geq 200$ кОм		
<b>ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ <math>Z_s</math></b>		
Диапазон измерения согласно IEC 61557		
Провод измерительный	Диапазон измерения $R_s$	
1,2 м	0,13 ... 199,9 Ом	
5 м	0,15 ... 199,9 Ом	
10 м	0,19 ... 199,9 Ом	
20 м	0,25 ... 199,9 Ом	
<b>ДИАПАЗОН ОТОБРАЖЕНИЯ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ <math>Z_s</math></b>		
Диапазон отображения	Разрешение	Основная погрешность
0,0 ... 19,9 Ом	0,01 Ом	± (2% и. в + 3 ед. мл. разряда)
20,0 ... 199,9 Ом	0,1 Ом	± (2% и. в + 1 ед. мл. разряда)

Продолжение таблицы А.1

<b>ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗНОГО УГЛА ПЕТЛИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ</b>			
<b>Диапазон</b>	<b>Разрешение</b>	<b>Основная погрешность</b>	<b>Внимание</b>
-90 ... 90°	0,1°	± 10°	Для угла от 0 до 30° и полного сопротивления > 0,1 Ом
		± 3°	Для угла > 30° и полного сопротивления > 0,1 Ом
<b>ДИАПАЗОН ОТОБРАЖЕНИЯ АКТИВНОГО R<sub>s</sub> И РЕАКТИВНОГО X<sub>s</sub> СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕТЛИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ</b>			
<b>Диапазон отображения</b>	<b>Разрешение</b>	<b>Основная погрешность</b>	
0,0 ... 19,9 Ом	0,01 Ом	± (2% и. в + 3 ед. мл. разряда)	
20,0 ... 199,9 Ом	0,1 Ом	± (3% и. в + 1 ед. мл. разряда)	
<b>РАСЧЁТ ОЖИДАЕМОГО ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ I<sub>к</sub> (ВЫЧИСЛЕННОГО ПО Z<sub>s</sub> ДЛЯ U<sub>н</sub> =220 В)</b>			
Диапазон измерения согласно IEC 61557			
<b>Провод</b>	<b>Диапазон измерения I<sub>к</sub></b>		
1,2 м	1,15 А ... 1,84 кА		
5 м	1,15 А ... 1,53 кА		
10 м	1,15 А ... 1,26 кА		
20 м	1,15 А ... 924 А		
<b>ДИАПАЗОН ОТОБРАЖЕНИЯ</b>			
<b>Разрешение</b>	<b>Основная погрешность</b>		
0,01 А	Определяется по основной погрешности полного сопротивления петли короткого замыкания		

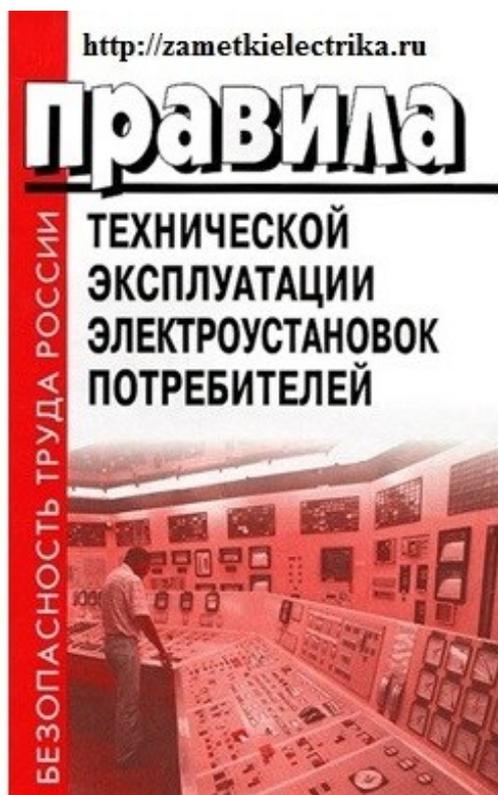
Продолжение таблицы А.1

0,1 А	
1 А	
10 А	
100 А	
<b>КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ ПРОВОДОВ</b>	
<b>Порог срабатывания блокировки измерений</b>	<b>Основная погрешность определения порога</b>
3 кОм	± 10 %
<b>ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ</b>	
<b>Разрешение</b>	<b>Основная погрешность</b>
0,001 Ом	± (5% и. в + 3 ед. мл. разряда)
<b>УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ</b>	
Номинальное напряжение измеряемой цепи $U_n$	220 В
Диапазон напряжения, при котором выполнимо измерение	180 ... 250 В
Номинальная частота измеряемой цепи $f_n$	50 Гц

## Приложение Б

(обязательное)

### Выписка из ПТЭЭП и ПУЭ-7



28.4 При замыкании на корпус или нулевой рабочий проводник ток однофазного короткого замыкания должен составлять не менее:

- трехкратного значения номинального тока плавкой вставки предохранителя;
- трехкратного значения номинального тока нерегулируемого расцепителя автоматического выключателя с обратозависимой от тока характеристикой;
- трехкратного значения уставки по току срабатывания регулируемого расцепителя автоматического выключателя обратозависимой от тока характеристикой;
- значения  $1,1I_{ном}N$  для автоматических выключателей с мгновенным расцепителем, где  $N$  равно 5, 10, 20 при характеристиках расцепления соответственно "В", "С" и "D",  $I_{ном}$  - номинальный ток автоматического выключателя.

Рисунок Б.1 – ПТЭЭП



7.3.139. В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью в целях обеспечения автоматического отключения аварийного участка проводимость нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или нулевой защитный проводник возникал ток КЗ, превышающий не менее чем в 4 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя и не менее чем в 6 раз ток расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратозависимую от тока характеристику.

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (без выдержки времени), следует руководствоваться требованиями, касающимися кратности тока КЗ и приведенными в 1.7.79.

1.7.79. В системе TN время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в табл.1.7.1.

Таблица 1.7.1 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.

Рисунок Б.2 – ПУЭ

## Приложение В

(обязательное)

### Допустимы температуры нагрева

Таблица В.1 – Допустимые значения температуры нагрева

Наименование оборудования, токоведущей части	Наибольшее допустимое значение	
	температуры нагрева, °С	превышения температуры, °С
1	2	3
1. Токоведущие (за исключением контактов и контактных соединений) и нетоковедущие и металлические части, не изолированные и не соприкасающиеся с изоляционными материалами	120	80
2. Изолированные или соприкасающиеся с изоляционными материалами, классов нагревостойкости по ГОСТ 8865:		
У	90	50
А	100	60
Е	120	80
В	130	90
F	155	115
Н	180	140
3. Контакты из меди и медных сплавов		
3.1. Без покрытий:		
в воздухе / в изоляционном масле / в элегазе	75/80/90	35/40/50

Продолжение таблицы В.1

1	2	3
3.2. С накладными серебряными пластинами:		
в воздухе / в изоляционном масле / в элегазе	120/90/120	80/50/80
3.3. С покрытием серебром или никелем:		
в воздухе / в изоляционном масле / в элегазе	105/90/105	65/50/65
3.4. С покрытием серебром не менее 24 мкм в воздухе	120	80
3.5. С покрытием оловом:		
в воздухе / в изоляционном масле / в элегазе	90/90/90	50/50/50
4. Контакты металлокерамические вольфрамо- и молибденосодержащие / в изоляционном масле: на основе меди / на основе серебра	85/90	45/50
5. Выводы аппаратов из меди, алюминия и их сплавов, предназначенные для соединения с внешними проводниками электрических полей: 5.1. Без покрытия	90	50
5.2. С покрытием оловом, серебром или никелем	105	65
6. Болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов: 6.1. Без покрытия в воздухе / в изоляционном масле / в элегазе 6.2. С покрытием оловом в воздухе / в изоляционном масле / в элегазе 6.3. С покрытием серебром или никелем В воздухе / в изоляционном масле / в элегазе	90/100/105  105/100/105  115/100/115	50/60/65  65/60/65  75/60/75

Продолжение таблицы В.1

1	2	3
7. Предохранители переменного тока на напряжение 3 кВ и выше:		
7.1. Соединения из меди, алюминия или их сплавов в воздухе, без покрытия / с покрытием оловом: с разъемным контактным соединением, осуществляемым пружинами с разборным соединением (нажатие болтами или винтами) / в том числе выводы предохранителя 7.2. Металлические части, используемые как пружины: из меди из фосфористой бронзы и аналогичных сплавов	75/95  90/105  75 105	35/55  50/65  35 65
8. Изоляционное масло в верхнем слое коммутационных аппаратов	90	50
9. Трансформаторы тока, встроенные в масляные выключатели, трансформаторы, реакторы: обмотки магнитопроводы	- -	10 15
10. Контактные соединения устройств регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой (РПН) при работе на воздухе в масле:		

Продолжение таблицы В.1

1	2	3
из меди, ее сплавов и медьсодержащих композиций без покрытия серебром с нажатием болтами или другими элементами, обеспечивающими жесткость соединения	-	40/25
с нажатием пружинами и самоочищающиеся в процессе переключения	-	35/20
с нажатием пружинами и не самоочищающиеся в процессе переключения	-	20/10
<p>11. Токоведущие жилы силовых кабелей в режиме длительном / аварийном:</p> <p>11.1. При наличии изоляции:</p> <p>поливинилхлоридный пластикат и полиэтилен</p> <p>вулканизирующийся полиэтилен</p> <p>резина</p> <p>резина повышенной теплостойкости</p> <p>11.2. С пропитанной бумажной изоляцией при вязкой / обедненной пропитке и номинальном напряжении, кВ:</p> <p>1 и 3</p> <p>6</p> <p>10</p>	<p>70/80</p> <p>90/130</p> <p>65/-</p> <p>90/-</p> <p>80/80</p> <p>65/75</p> <p>60/-</p>	<p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p>
20	55/-	-
35	50/-	-
<p>12. Коллекторы и контактные кольца, незащищенные и защищенные при изоляции классов нагревостойкости ГОСТ 8850:</p> <p>А/Е/В</p>	-	60/70/80

Продолжение таблицы В.1

1	2	3
Ф/Н	-	90/100
13. Подшипники скольжения / качения	80/100	-
Примечание: данные табл. 1 применяют, если для конкретных видов оборудования не установлены другие нормы.		

**Приложение Г**  
**(обязательное)**

**Протокол обследования и измерения параметров ЗУ**

ПРОТОКОЛ  
ОБСЛЕДОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО  
УСТРОЙСТВА

ПС \_\_\_\_\_

Название

\_\_\_\_\_ " \_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_ г.

название ПЭС, РЭС

1. Сопротивление заземляющего устройства

гзп / гзт	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
R <sub>изм</sub> при гзт									
R <sub>изм</sub> при гзт									

Вывод: измеренное сопротивление заземляющего устройства R<sub>изм</sub> \_\_\_ Ом;

сезонный коэффициент сопротивления составляет K<sub>с</sub> = \_\_\_;

сопротивление заземляющего устройства R<sub>з</sub> не превышает \_\_\_ Ом.

2. Напряжение на заземляющем устройстве

Расчет тока, стекающего с заземлителя в землю при однофазном замыкании на землю I<sub>з</sub> = \_\_\_ кА.

Напряжение на заземляющем устройстве

U<sub>з</sub>=I<sub>з</sub> R<sub>изм</sub> K<sub>с</sub>= \_\_\_\_\_ кВ.

3. Напряжение прикосновения на ОРУ:

ток замыкания I<sub>з</sub> = \_\_\_ А;

время отключения t = \_\_\_ с;

норма напряжения прикосновения \_\_\_\_\_ В.

№ п.п.	Место измерения	Уизм/Лизм по прибору	Росн, кОм

Вывод: \_\_\_\_\_

указываются точки, в которых напряжение прикосновения превышает норму

4. Проверка металловязей, коррозионного состояния, сечения элементов, контактных соединений

Место проверки	Характер неисправности

5. Выводы и рекомендации по устранению недостатков: какие параметры соответствуют норме, а какие нет.

Руководитель бригады \_\_\_\_\_

должность, подпись