

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра электроэнергетики и электромеханики

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

УДК 621.31:622 (073)

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ: Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.Н. Скамын, А.А. Бельский, Ю.Л. Жуковский*. СПб, 2020. 47 с.

Лабораторные работы, выполняемые в процессе изучения дисциплины, помогают закрепить пройденный материал, глубже изучить вопросы, связанные с безопасной эксплуатацией электроустановок на промышленных и горных предприятиях. Рассмотрены вопросы электробезопасности на карьерах и шахтах, посвященные непрерывному контролю за сопротивлением изоляции в сетях с изолированной нейтралью, защите от токов утечки в шахтных сетях до 1000 В и защитному заземлению подземного электрооборудования. Также закрепляются навыки проведения измерений в электроустановках, необходимых при приемосдаточных и эксплуатационных испытаниях.

Методические указания предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» (специализация «Электрификация и автоматизация горного производства»).

Научный редактор проф. *В.А. Шпенст*

Рецензент канд. техн. наук *А.Н. Фоменко* (ООО «Сименс»)

ВВЕДЕНИЕ

В данных методических указаниях приведены учебно-методические материалы, необходимые для изучения основных принципов выполнения защитного заземления и зануления электроустановок, ознакомления с основными принципами выполнения уравнивания и выравнивания потенциалов, изучения особенностей организации техники безопасности при выполнении ремонтных работ в системах электроснабжения горных предприятий, ознакомления с методами контроля изоляции электрооборудования.

Комплект учебного лабораторного оборудования предназначен для проведения лабораторных занятий для получения базовых и углубленных профессиональных знаний и навыков, связанных с безопасной эксплуатацией электроустановок на промышленных и горных предприятиях.

Учебное оборудование позволяет исследовать опасность поражения человека электрическим током при прямом и косвенном прикосновении его к частям, находящимся под напряжением в электроустановках до 1000 В, исследовать реле утечки, защиту от однофазного замыкания на землю в сети с заземленной нейтралью, изучить различные системы заземления в электроустановках, а также их преимущества и недостатки с точки зрения параметров.

Перед выполнением лабораторных работ студент должен ознакомиться с инструкцией по данной лабораторной работе, заготовить необходимые таблицы для занесения в них полученных результатов. Отчет по лабораторной работе должен содержать схему измерения, таблицы с измеренными величинами, выводы, а также ответы на контрольные вопросы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. ЗАЩИТА ОТ ПРЯМОГО И НЕПРЯМОГО КОНТАКТА С ТОКОВЕДУЩИМИ ЧАСТЯМИ В СЕТИ С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Исследование 1. Прямой контакт

Электробезопасность в сети с заземленной нейтралью зависит от сопротивления тела человека, сопротивления пола (обуви) и сопротивления контакта (сухая или мокрая рука) [1, 2].

Собрать схему, представленную на рисунке 1.1. Провести измерения и занести данные в таблицу 1.1: фазное напряжение U_F , напряжение U_B и ток утечки через человека I_F при прямом контакте проводника L_1 с сухой и влажной рукой.

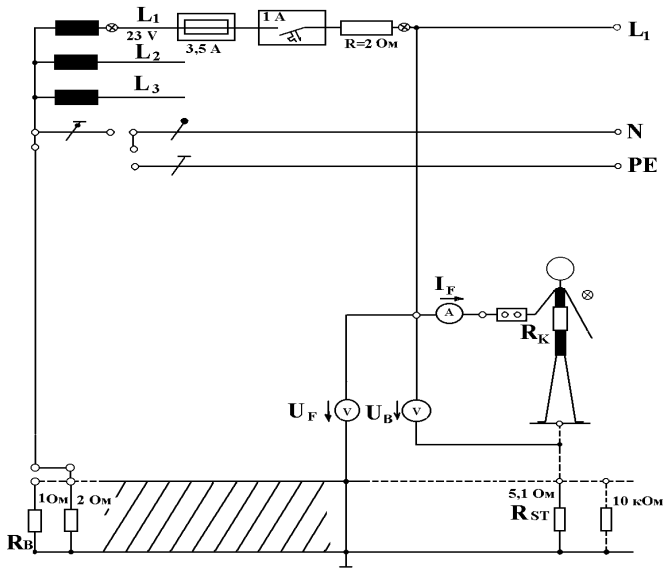


Рис.1.1. Прямой контакт

Сухая рука $R_K=2,4$ кОм (связывающий штекер не вложен в руку). Влажная рука $R_K=820$ Ом (штекер вложен в руку). Провести измерения для случаев плохой и хорошей изоляции пола: плохая изоляция $R_{ST}=5,1$ Ом; хорошая изоляция $R_{ST}=10$ кОм. Записать состояние светодиода (LED). При напряжении прикосновения более 50 В светодиод будет загораться. Заполнить таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Измеренные параметры при прямом контакте				
Параметр	Сухая рука $R_K=2,4 \text{ кОм}$		Влажная рука $R_K=820 \text{ Ом}$	
	Плохая изоляция $R_{ST}=5,1 \text{ Ом}$	Хорошая изоляция $R_{ST}=10 \text{ кОм}$	Плохая изоляция $R_{ST}=5,1 \text{ Ом}$	Хорошая изоляция $R_{ST}=10 \text{ кОм}$
$U_F, \text{ В}$				
$U_B, \text{ В}$				
$I_F, \text{ мА}$				

Исследование 2. Непрямой контакт

1. Без замыкания на корпус. Собрать схему рисунку 1.2. Измерить напряжение U_F , напряжение прикосновения U_B и ток утечки I_F без замыкания на корпус (сопротивление $R_F=\infty$).

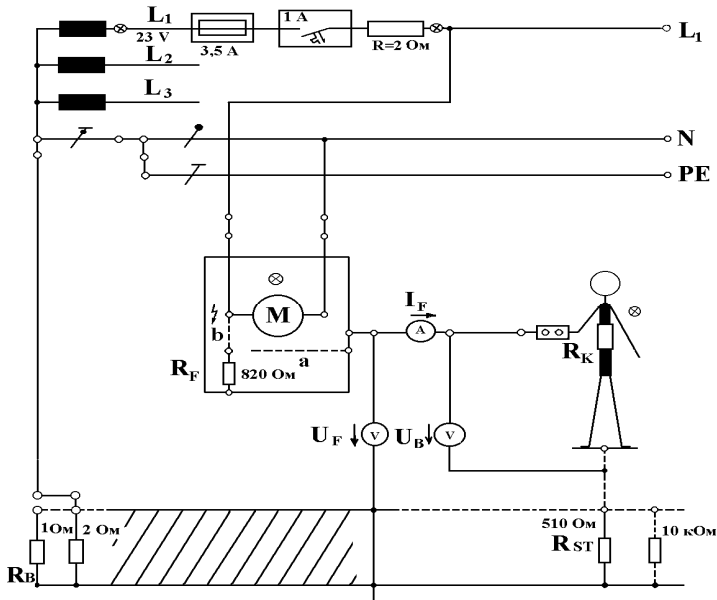


Рис.1.2. Непрямой контакт

2. Замыкание на корпус. Смоделировать сначала прямое замыкание на корпус (соединение а, $R_F=0 \text{ Ом}$), затем не прямое замыкание на корпус (соединение б, $R_F=820 \text{ Ом}$). Провести измерение величин, указанных в таблице 1.2.

Измеренные параметры при непрямом контакте

Параметр	Прямое замыкание на корпус $R_F=0$		Непрямое замыкание на корпус $R_F=820 \text{ Ом}$	
	Сухая рука, $R_K=2,4 \text{ кОм}$	Влажная рука, $R_K=820 \text{ Ом}$	Сухая рука, $R_K=2,4 \text{ кОм}$	Влажная рука, $R_K=820 \text{ Ом}$
$U_B, \text{ В}$				
$I_F, \text{ мА}$				
$U_{F1}, \text{ В}$				

Исследование 3. Защита путем использования низкого напряжения

Собрать схему рисунка 1.3. (соединение а, $R_F=0$).

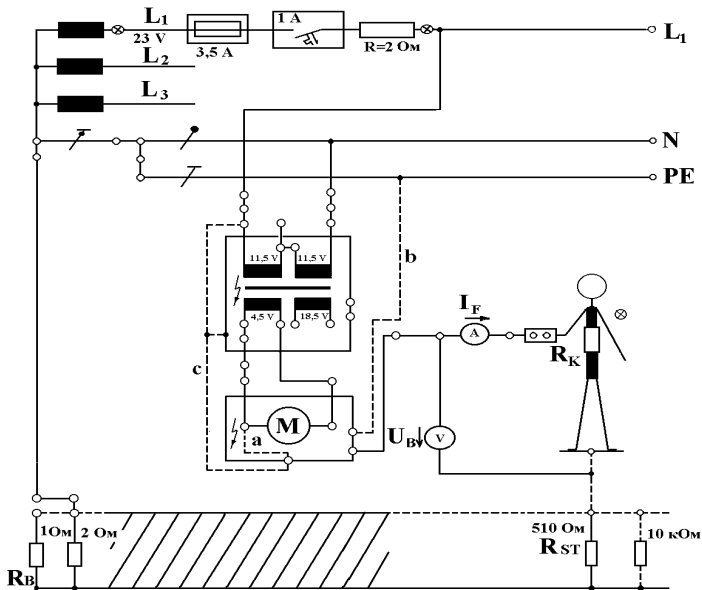


Рис.1.3. Защита путем использования низкого напряжения

Выполнить следующие измерения:

1. Измерить напряжение прикосновения U_B и ток утечки I_F .
2. Присоединить дополнительно проводник PE к корпусу электропотребителя в точке b . Измерить напряжение прикосновения U_B и ток утечки I_F , протекающий через тело человека.

3. Отключить соединение b и смоделировать замыкание на корпус фазы L_I (соединение c). Измерить напряжение прикосновения U_B и ток утечки I_F . Внести результаты измерений в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

Измеренные параметры при низком напряжении

№	Напряжение прикосновения U_B
Измерение 1	
Измерение 2	
Измерение 3	

Контрольные вопросы

1. В каких случаях в таблице 1.1 существует опасность поражения электрическим током?
2. Что понимается под термином «основная изоляция» и с какой целью она используется?
3. Что понимается под термином «прямой контакт»?
4. Что понимается под термином «непрямой контакт»?
5. Расскажите, какие повреждения могут привести к непрямому контакту?
6. Объясните, в чем различие между прямым и непрямым замыканием на корпус, землю и коротким замыканием?
7. Какова величина допустимого напряжения прикосновения при прямом и непрямом контакте?
8. В каких случаях в таблице 1.2 существует опасность поражения электрическим током?
9. До какого номинального напряжения защита от прямого контакта не обязательна?
10. Назовите параметры, по которым различают функционально низкое напряжение и защитное низкое напряжение.
11. Объясните, почему нет опасности для жизни при проведении серии измерений 1 (исследование 3)?
12. Почему нет возможности в серии измерений 2 (исследование 3) появиться критическому напряжению прикосновения, несмотря на подключение к PE – проводнику?
13. Почему в серии измерений 3 (исследование 3) появляется критическое напряжение прикосновения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. ЗАЩИТА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОТРАНСФОРМАТОРА

Исследование 1. Применение автотрансформатора

Собрать схему рисунке 2.1.

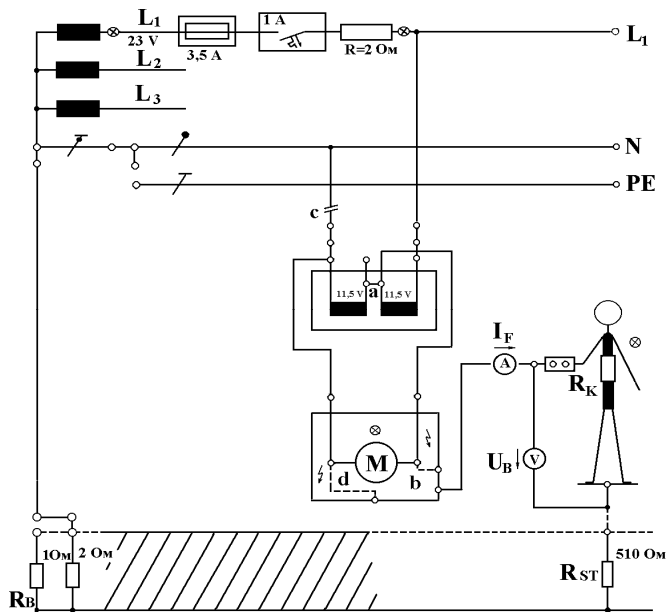


Рис.2.1. Включение автотрансформатора

Выполнить следующие измерения:

1. Замкнуть между собой две части катушки (подключение а) и сделать короткое замыкание на корпус ($R_F=0$, соединение b). Измерить напряжение прикосновения U_B и ток утечки I_F через тело человека с соединением между двумя частями катушки и без него.
2. Дополнительно смоделировать еще один разрыв в соединении с нейтральным проводником N (подключение c). Измерить напряжение прикосновения и ток утечки.
3. Повторить измерения 1 и 2, замкнув соединение d и разомкнув b. Измерить напряжение прикосновения и ток утечки. Внести результаты измерений в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Измеренные параметры с применением автотрансформатора

№	Напряжение прикосновения U_B	Ток утечки I_F
Измерение 1		
Измерение 2		
Измерение 3		

Исследование 2. Система TN-C

Собрать цепь, как показано на рисунке 2.2.

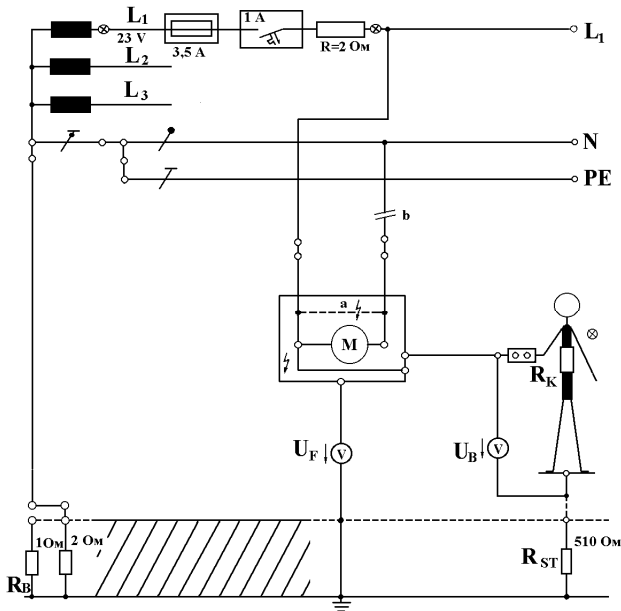


Рис. 2.2. Защита от тока короткого замыкания (система TN-C)

Внутреннее сопротивление защитного устройства равно $R=2$ Ом. Провести следующие виды измерений:

1. Смоделировать короткое замыкание (соединение а) между проводником L_1 и PEN-проводником, а также сделать короткое замыкание между L_1 и корпусом мотора. При этом необходимо обратить внимание на срабатывание/несрабатывание защитного устройства. Определить ток короткого замыкания I_K , I_F , U_B и U_F до срабатывания защиты.

2. Измерить напряжение U_F до срабатывания защитного устройства (без соединения *a*). Также измерить I_F , U_B .

3. Разомкнуть соединение *a* и смоделировать разрыв в PEN-проводнике (соединение *b*). Измерить I_F , U_B и U_F . При этом обратить внимание на срабатывание/несрабатывание защитного устройства. Заполнить таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Измеренные параметры (система TN-C)				
№	U_B	I_F	U_F	Защитное устройство
Измерение 1				
Измерение 2				
Измерение 3				

Исследование 3. Система TT

Собрать схему на рисунке 2.3.

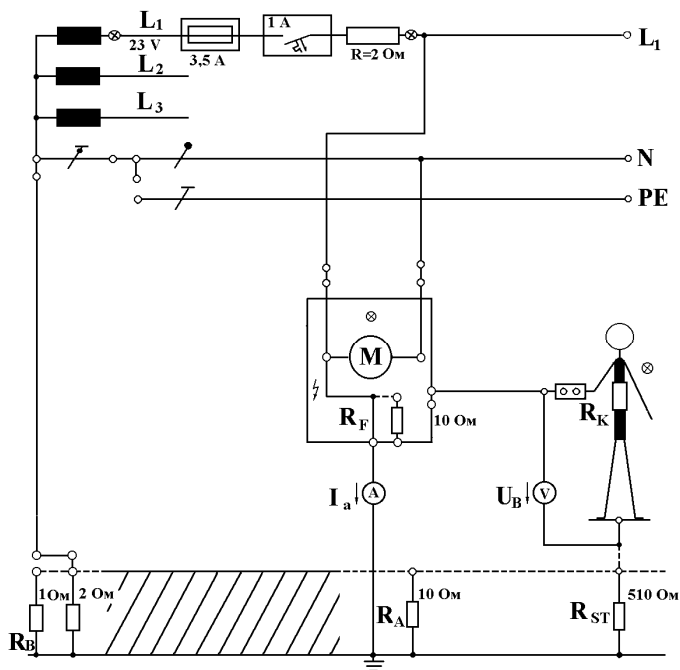


Рис. 2.3. Защита в TT системе

Воспользуйтесь амперметром с диапазоном измерения 10 А. Провести следующие измерения:

1. Человек не касается корпуса. Замкнуть фазу L_1 на корпус через сопротивление $R_F=10$ Ом. Сопротивление изоляции должно быть равно $R_A=10$ Ом. Измерить ток I_a и напряжение корпуса относительно земли. При этом контролировать срабатывание/несрабатывание защитного устройства. Внести значения в таблицу 2.3.

2. Измерить ток отключения I_a , при котором срабатывает защитное устройство и напряжение корпуса относительно земли. Заполнить таблицу 2.3.

3. Провести измерения 1 и 2 при касании человеком корпуса и измерить при этом U_B .

Таблица 2.3

Измеренные параметры (система ТТ)

№	U_B	I_a	Защитное устройство
Измерение 1			
Измерение 2			
Измерение 3			

Контрольные вопросы

1. В чем суть защиты от поражения электрическим током с использованием автотрансформатора?

2. От чего зависит время срабатывания защитного устройства?

3. Существует ли опасность для жизни в течение времени срабатывания защитного устройства в серии измерений для системы TN-C?

4. Почему не срабатывает защитное устройство при $R_F=10$ Ом, $R_A=10$ Ом для системы ТТ?

5. Когда применяется система ТТ?

6. Как обеспечивается электробезопасность в системе ТТ?

7. Как обеспечивается электробезопасность в системе TN-C?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЕ УТЕЧКИ

Исследование 1. Суммирующий трансформатор тока

Собрать схему рисунке 3.1.

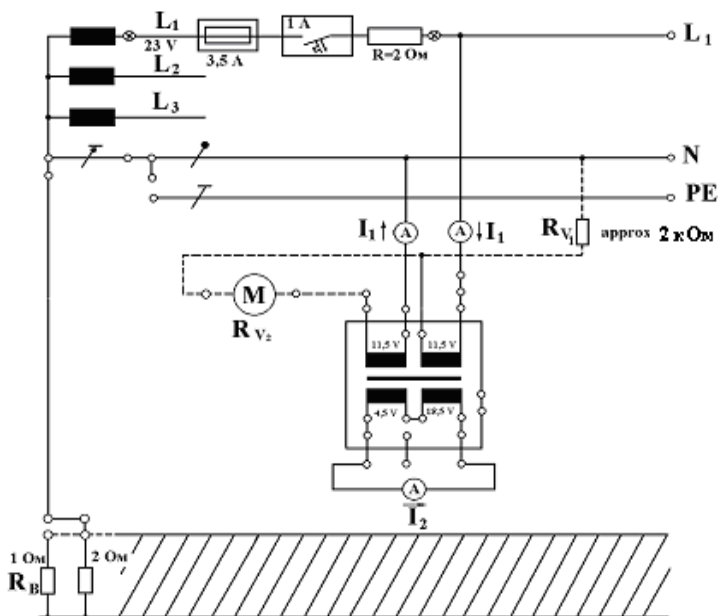


Рис.3.1. Суммирующий токовый трансформатор

Примечание: $R_{v1} = 1 \text{ кОм}$ потенциометр (правосторонний стоп)+ $2 \times 470 \text{ Ом}$, R_{v2} - нельзя измерить омметром.

Провести следующие виды измерений:

1. Провести входящий и выходящий провода через суммирующий токовый трансформатор. Замерить токи I_1 прямой и I_1 обратный во вторичной обмотке трансформатора. Для этих целей использовать только второй потребитель с сопротивлением R_{v2} , равным примерно 2 кОм , т.е. электромотор.

2. Измерить токи I_1 прямой, I_1 обратный и I_2 , если обратный провод не проходит через суммирующий токовый трансформатор (первич-

ная обмотка не используется; R_{V1} равно примерно 2 кОм, R_{V2} – убрать).

3. Измерить токи I_1 прямой, I_1 обратный и I_2 во вторичной цепи суммирующего токового трансформатора при обоих подключенных потребителях (R_{V1} равно примерно 2 кОм, R_{V2} равно примерно 2 кОм).

Исследование 2. Реле утчки

Проверить функционирование устройства защиты ПЦУЗ. Собрать схему рисунке 3.2 без потребителя (лампа) и сопротивления утчки R_F . Нажать на кнопку ПЦУЗ. При этом контролировать срабатывание/несрабатывание ПЦУЗ.

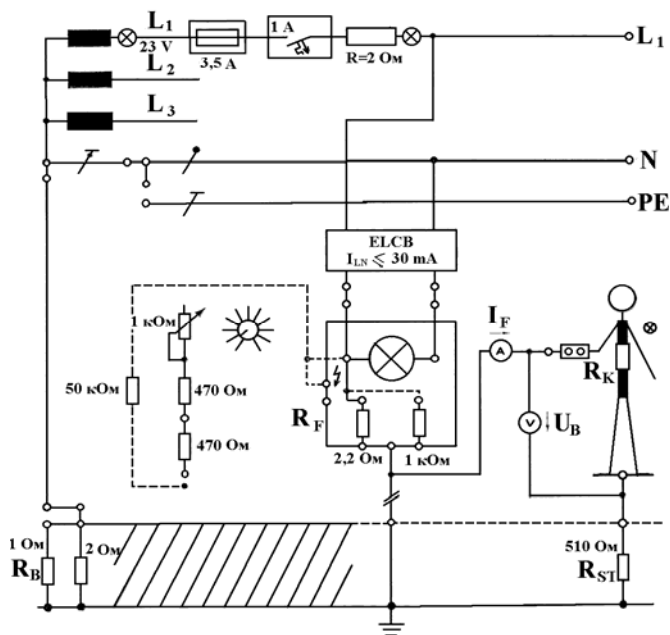


Рис. 3.2. Исследование реле утчки

Провести следующие измерения:

1. Собрать полную схему в соответствии с рисунком 3.2. Установить сопротивление R_F в соответствии с таблицей 3.1. Измерить

напряжение прикосновения $U_{\text{в}}$ и ток утечки I_{F} , протекающий через тело человека. Заполнить таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Измеренные параметры схемы с реле утечки

Сопротивление R_{F} , Ом	ПЦУЗ работает/ не работает	$U_{\text{в}}$, В	I_{F} , мА	Опасно для жизни: да/нет
0				
2.2				
1000				
Примерно 2000				
50 000				

2. Разорвать цепь проводника PE и повторить измерения 1. Заполнить таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Измеренные параметры схемы с реле утечки без PE

Сопротивление R_{F} , Ом	ПЦУЗ работает/ не работает	$U_{\text{в}}$, В	I_{F} , мА	Опасно для жизни: да/нет
0				
2.2				
1000				
Примерно 2000				
50 000				

Контрольные вопросы

1. Объяснить поведение токов в серии измерений для исследования 1.
2. Почему ПЦУЗ работает после нажатия на кнопку?
3. Объясните принцип действия ПЦУЗ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. ЗАЩИТА ОТ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ TN

Исследование 1. Замыкание фазы на землю

Собрать схему на рисунке 4.1, в которой отсутствует цепь короткого замыкания.

Рассчитать ток утечки I_{F} . Сопротивление линии и трансформатора должны быть равны 4.5 Ом.

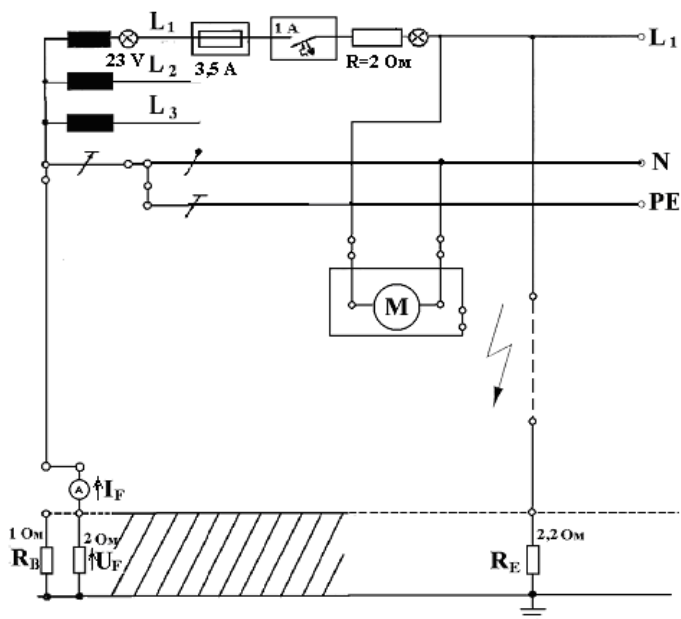


Рис. 4.1. Отсутствие цепи короткого замыкания

Измерить ток утечки I_F . При этом контролировать срабатывание/несрабатывание защитного устройства. Сравнить с расчетным.

Определить напряжение U_F . Определить максимально приемлемое сопротивление контакта при обрыве заземления R_E (напряжение сети принять 220 В). При этом напряжение U_F будет больше/меньше, чем допустимое напряжение прикосновения? Для того, чтобы избежать при $R_B=2$ Ом превышения напряжения прикосновения более 50 В, R_E должно быть больше или меньше 7.2 Ом?

Сделать вывод о том, является ли заземление основной мерой защиты в сети TN .

Исследование 2. Сопротивление петли фаза-ноль

Данное исследование позволяет понять принцип расчета тока короткого замыкания и сопротивления петли фаза-ноль. Собрать схему в соответствии с рисунками 4.2 и 4.3. Предварительная схема необходима для определения напряжения U_0 .

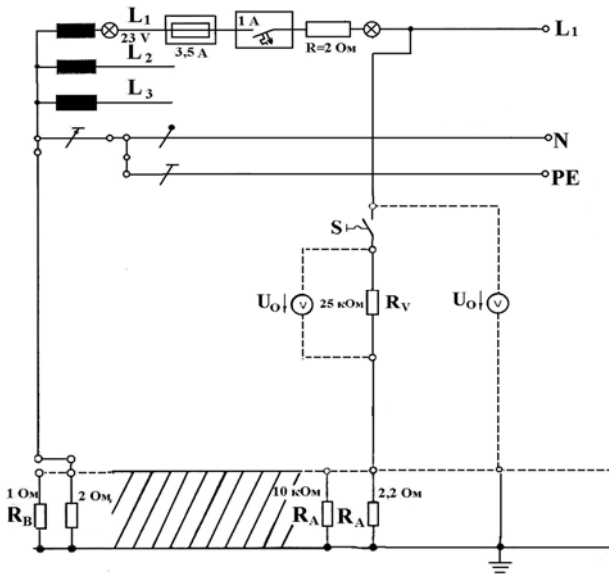


Рис.4.2. Предварительная схема

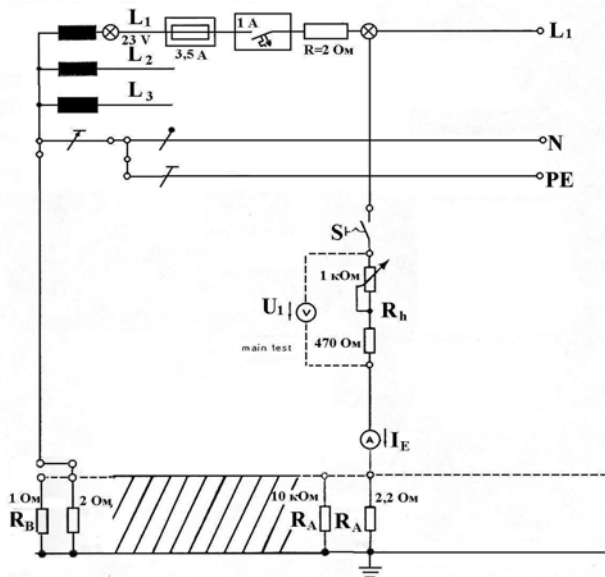


Рис.4.3. Схема для основных исследований

Выбрать значения сопротивления для двух этапов измерения, чтобы выполнялось соотношение $R_V =$ примерно $20R_h$. Использовать $R_V=25$ кОм (2×50 кОм параллельно) для предварительных измерений и $R_h=1.25$ кОм (правильно настроить 1-килоомный потенциометр при помощи омметра) для основных измерений.

Порядок определения Z_S и I_K

1. Предварительные исследования. Измерение U_0 при откл. S .
2. Включить сопротивление R_V . Включить выключатель S и проверить, насколько упало напряжение U_0 .
3. Основные исследования. Включить сопротивление R_h . Измерить напряжение U_1 .
4. Измерение тока I_E . Для расчета сопротивления петли фаз-ноль необходимы значения напряжения U_0, U_1, I_E .
5. Расчет сопротивления Z_S и тока короткого замыкания I_K .
6. Проверка условия $Z_S \times I_a \leq U_0$, где I_a – ток срабатывания предохранителей.

Исследование 3. Короткое замыкание в TN-системе

Собрать схему в соответствии с рисунком 4.4.

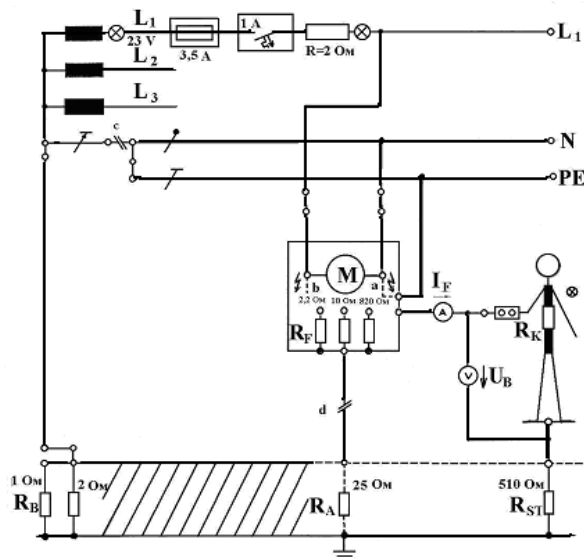


Рис.4.4. Короткое замыкание в TN-системе

Смоделировать короткое замыкание в соответствии с таблицей 4.1. Измерить напряжения прикосновения U_B и токи утечки I_F . Проверить, в каких случаях срабатывает защитное устройство, в каких нет. Данные измерений занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Измеренные параметры при замыкании в системе TN

Соединение	R_F , Ом	U_B , В	I_F , мА	Защитное устройство срабатывает, да/нет
<i>a</i>	0			
	2.2			
	10			
	820			
<i>b</i>				
<i>b+c</i>				
<i>b+d</i>				
<i>b+c+d</i>				

Когда через защитное устройство протекает ток, он может нагреваться, поэтому время отключения может отличаться (защитное устройство с термическим расцепителем).

Контрольные вопросы

1. Для каких электрических цепей применимо время отключения $t \leq 0.2$ с, а для каких время отключения $t \leq 5$ с?
2. Какое минимальное значение сопротивления цепи короткого замыкания R_A в TN-системе, если общее сопротивление составляет только 1 Ом?

3. Какое условие для отключения необходимо выполнить, чтобы защитное устройство и сечение проводника соответствовали друг другу?

4. Возможна ли защита от токов короткого замыкания в системе с напряжением 230 В, если сопротивление цепи равно 2.5 Ом, а ток отключения, на который рассчитано защитное устройство, равен 10 А?

5. Почему не существует большого тока короткого замыкания при коротком замыкании на корпус?

6. Зависит ли ток утечки от сопротивления тела человека при коротком замыкании на корпус?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. ЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА В ТТ СИСТЕМАХ

Исследование 1. Параметры ПЦУЗ

Собрать схему на рисунке 5.1 без потребителя и без R_A .

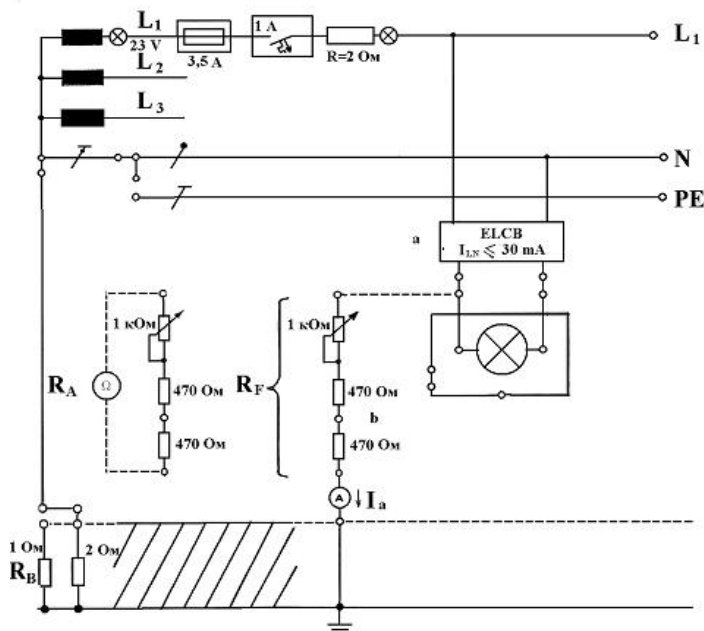


Рис.5.1. Проверка защитного устройства ПЦУЗ

Нажатием на кнопку проверить, срабатывает ли ПЦУЗ. Собрать полную схему. Замерить величину тока срабатывания ПЦУЗ I_a путем поворота ручки 1-килоомного потенциометра влево (до тех пор, пока ПЦУЗ не работает).

Измерить сопротивление R_F при помощи омметра (сопротивление R_F должно быть отсоединено от схемы). Рассчитать величину R_F .

Исследование 2. Работа ПЦУЗ в зависимости от R_A

Собрать схему рисунке 5.2. Подключить одно за другим сопротивления с различными значениями R_A . Измерить соответствующие напряжения прикосновения и отметить срабатывает или нет защитное устройство ПЦУЗ.

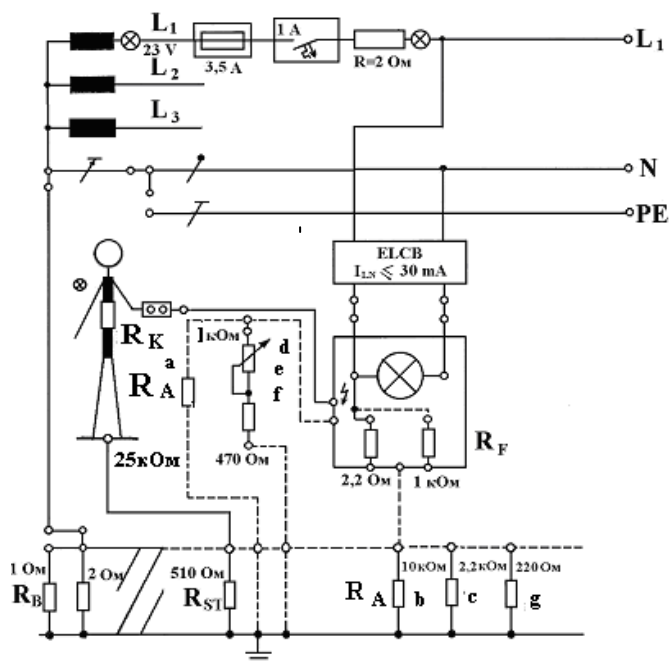


Рис.5.2. Работа ПЦУЗ в зависимости от R_A

Полученные результаты занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

Измеренные параметры в системе ГТ

Сопротивление R_A , Ом	ПЦУЗ		Напряжение прикосновения, U_B , В	Сопротивление цепи к.з., R_F , Ом	Опасность для жизни есть/нет
	Сраб-т	Не сраб-т			
25000				0	
				2200	
				1000	
10000				0	
				2200	
				1000	
2200				0	
				2200	
				1000	
1470				0	
				2200	
				1000	
1000				0	
				2200	
				1000	
470				0	
				2200	
				1000	
220				0	
				2200	
				1000	

Исследование 3. Сопротивление заземления R_A

Собрать схему на рисунке 5.3 и определить сопротивление заземления R_A . Установить сначала при помощи сопротивления R_P ток $I_E=25$ мА (250 мА).

Предполагается, что измерительный зонд втыкается в почву на расстоянии 20 м от заземленного электрода. Измерить напряжение U_E между измерительным зондом и электродом R_A ($R_A=25$ Ом). Подсчитать сопротивление R_A . Повторить измерение при R_A , равном 2.2 кОм. Установить ток $I_E =7.5$ мА (75 мА). Подсчитать сопротивление R_A .

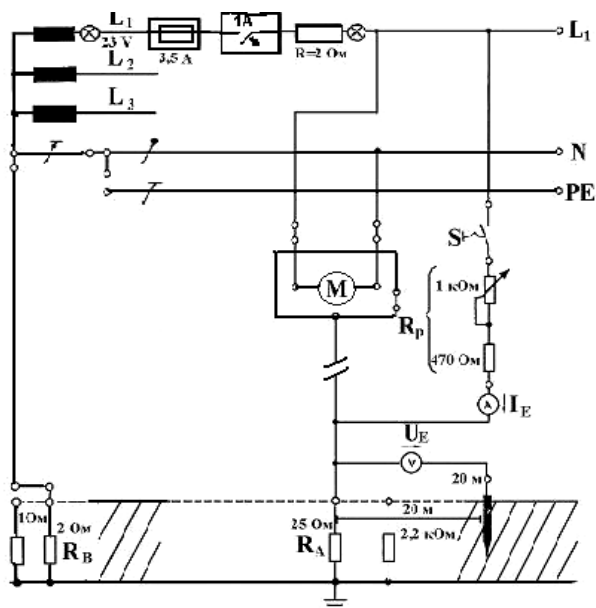


Рис.5.3. Защитное заземление

Исследование 4. Заземление корпуса электрооборудования

Корпус электрооборудования напрямую соединен с «землей» при помощи электрода в системе *ТТ*. Собрать схему в соответствии с рисунком 5.4. Установить ток $I_E = 7.5 \text{ мА}$ при помощи сопротивления R_p . Измерить напряжение U_E . Подсчитать сопротивление R_A . Измерить напряжение U_E между электродом и измерительным зондом, размещенным на расстоянии 20 м. Подсчитать сопротивление R_A .

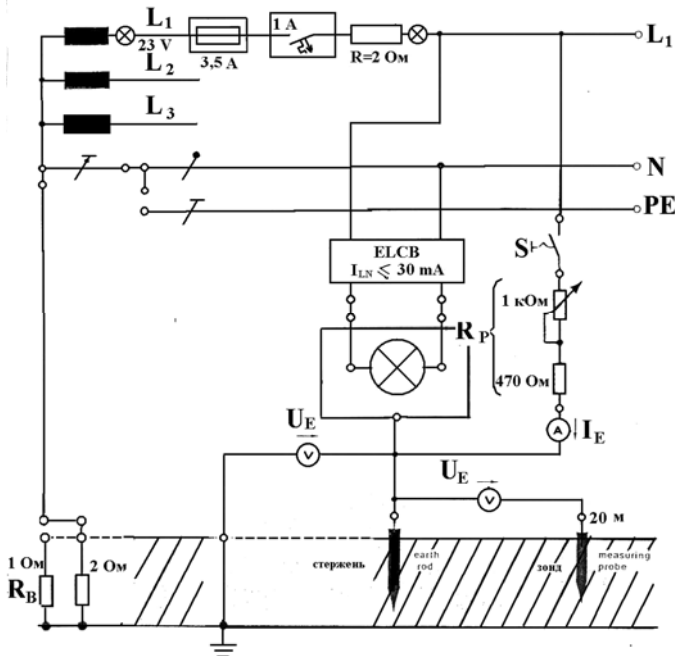


Рис. 5.4. Цепь заземления

Контрольные вопросы

1. Определите максимально допустимое сопротивление R_A в исследовании 2.
2. Дайте оценку результатам измерений в исследовании 2.
3. Является ли достаточным сопротивление заземления в серии измерений исследования 4?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. ЗАЩИТА ОТ ТОКОВ УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Исследование 1. Работа реле утечки

Собрать схему в соответствии с рисунком 6.1. Установить потенциометр реле утечки на «землю» в положение 50 кОм (4 метка на шкале).

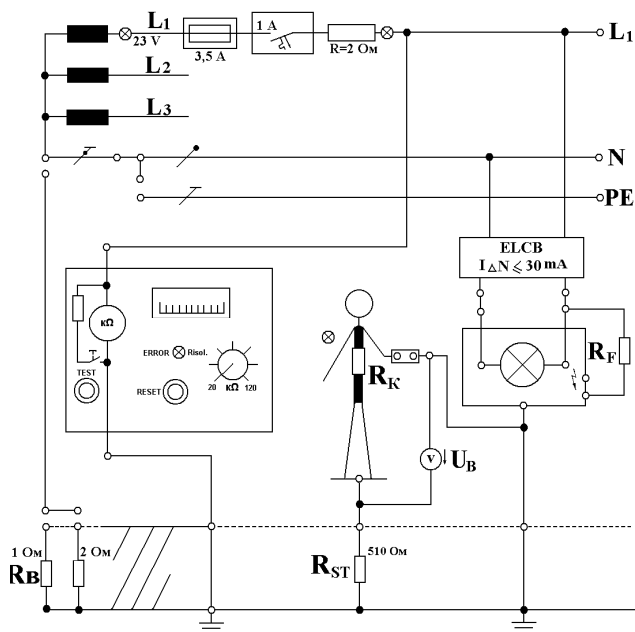


Рис.6.1. Исследование реле утечки

Смоделировать цепь короткого замыкания на корпус через сопротивление R_F , меняя его величину в соответствии с таблицей 6.1. Измерить значения напряжения прикосновения U_B и наблюдать за поведением реле утечки. Данные наблюдений занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Измеренные параметры в системе TT

Величина сопротивления R_F , кОм	Напряжение прикосновения U_B , В	Реле срабатывает/ нет
100		
50		
25		
0		

Собрать схему на рисунке 6.2. Установить потенциометр реле утечки в положение 20 кОм. Измерить величину напряжения прикосновения U_B (соединение *a*). Смоделировать короткое замыкание между корпусом и нейтральным проводом *N*.

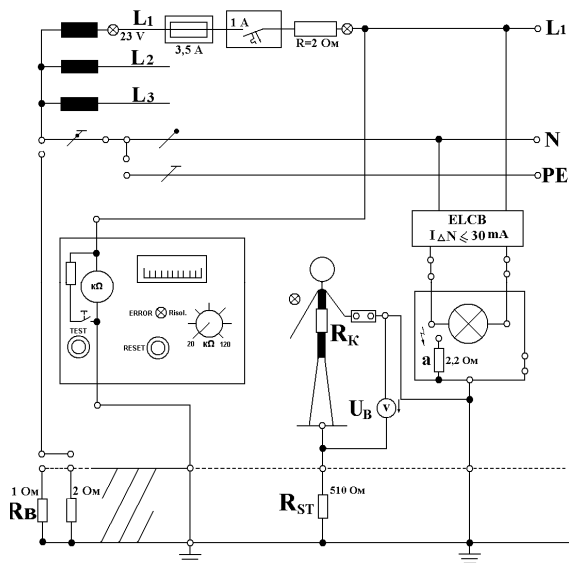


Рис.6.2. Исследование реле утечки

Исследование 2. Повреждение изоляции

Собрать схему согласно рисунку 6.3. Смоделировать повреждение изоляции в соответствии с таблицей 6.2. Измерить соответствующие напряжения прикосновения U_B (с влажными руками) и ток утечки I_F , протекающий через тело человека. Проследить за реакцией светодиода у фигурки человека. Занести результаты измерений в таблицу 6.2. Повернуть потенциометр так, чтобы $U_B=5$ В.

Таблица 6.2

Измеренные параметры при повреждении изоляции

Сопротивление R_F , Ом	U_B , В	I_F , мА	Светодиод вкл./выкл.
0			
10			
820			
1470			
1940			

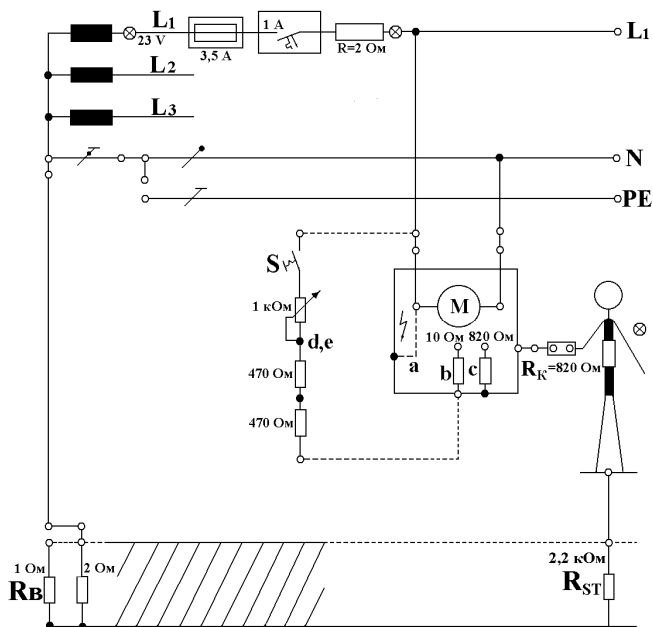


Рис.6.3. Процесс повреждения изоляции

Выводы: если прикоснуться к корпусу электродвигателя влажными руками, то при нарушении изоляции напряжение прикосновения не будет опасным при сопротивлении утечки более 842 Ом.

Контрольный вопрос

В ИТ- системе ток утечки равен 20 мА. Каково должно быть максимально допустимое сопротивление заземления?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Собрать схему согласно рисунку 7.1. Измерить напряжение заземлителя U_E между отчетной точкой и различными заземленными электродами (вспомогательными электродами заземления). Занести полученные данные в таблицу 7.1. Значения U_E перевести в реальные величины. Построить характеристику $U_E = f(d)$.

Измеренные значения напряжения заземлителя

Расстояние до электрода, d , м	0	1	2	5	10	20
Напряжение заземлителя, U_E , В						
Реальное напряжение заземлителя, В						

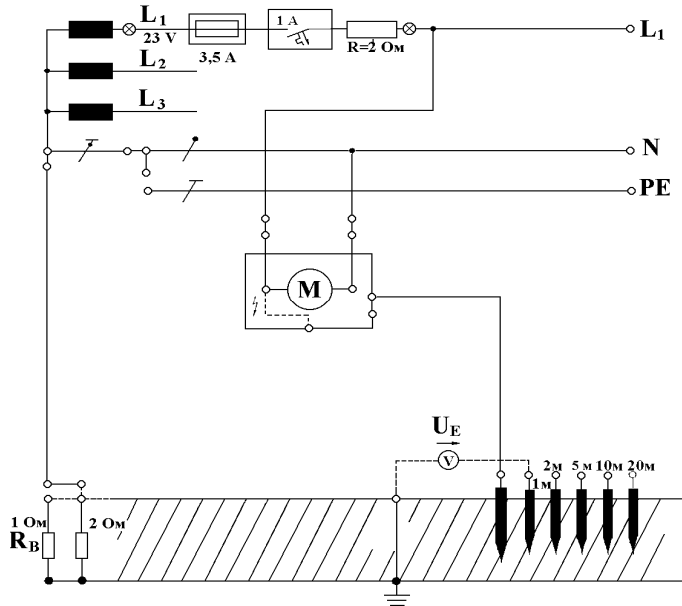


Рис.7.1. Устройство защитного заземления

Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение электродов заземления.
2. Объяснить термин «шаговое напряжение».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8. ПРОВЕРКА ЦЕПИ ФАЗА - НУЛЬ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ДО 1000 В ПРИ СИСТЕМЕ ПИТАНИЯ С ГЛУХОЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Цель проведения измерения

Измерение сопротивления петли «фаза-ноль» проводится с целью проверки срабатывания защиты электрооборудования и отключения аварийного участка при замыкании фазы на корпус [3, 4].

По измеренному полному сопротивлению петли «фаза-нуль» определяется ток однофазного короткого замыкания. Полученная расчетом величина тока сравнивается с номинальным током защитного аппарата.

Нормируемые величины

Измерение сопротивления петли «фаза-нуль» проводится в сроки, устанавливаемые графиком планово-предупредительного ремонта (ППР). По сопротивлению петли «фаза-нуль» $Z_{\phi 0}$ (Ом) ток короткого замыкания $I_{кз}$ (А) определяется по формуле $I_{кз} = U_{cp}/Z_{\phi 0}$, где U_{cp} - среднее значение питающего напряжения (В).

В электроустановках до 1кВ с глухозаземленной нейтралью с целью обеспечения автоматического отключения аварийного участка проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой защитный проводник возникал ток КЗ, превышающий не менее чем:

- в 3 раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя;
- в 3 раза номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику.

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), проводимость указанных проводников должна обеспечивать ток не ниже уставки тока мгновенного срабатывания, умноженной на коэффициент, учитывающий разброс (по заводским данным), и на коэффициент запаса 1,1.

Определяемые характеристики

Согласно ПУЭ в электроустановках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью с целью обеспечения автоматического отключения аварийного участка проводимость фазных и нулевых рабочих и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой проводник возникал ток короткого замыкания, который обеспечивает время автоматического

отключения питания, не превышающего значений, указанных в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы TN

Номинальное фазное напряжение U_0 , В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

Приведенные значения времени отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых цепях, питающих передвижные и переносные электроприемники и ручной электроинструмент класса 1. В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и др. щиты и щитки, время отключения не должно превышать 5 с.

Допускаются значения времени отключения более указанных в табл. 8.1, но не более 5 с в цепях, питающих только стационарные электроприемники от распределительных щитов или щитков при выполнении одного из следующих условий:

1) полное сопротивление, защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком не превышает значения, Ом:

$$50Z_{\psi}/U_0,$$

где Z_{ψ} - полное сопротивление цепи «фаза-нуль» (Ом); U_0 - номинальное фазное напряжение цепи (В), 50 - падение напряжения на участке защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком (В);

2) к шине PE распределительного щита или щитка присоединена дополнительная система уравнивания потенциалов, охватывающая те же сторонние проводящие части, что и основная система уравнивания потенциалов.

Допускается применение УЗО, реагирующих на дифференциальный ток.

Также ток, возникающий при однофазном КЗ во взрывоопасных зонах, должен превышать:

- в 6 раз номинальный ток автоматического выключателя с обратнoзависимой характеристикой во взрывоопасном помещении;
- в 4 раза номинальный ток плавкой вставки во взрывоопасном помещении [3].

При защите автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель, время отключения должно соответствовать данным таблицы 8.1.

Для расчёта тока однофазного КЗ по результатам измерения сопротивления петли «фаза-нуль» используют следующую формулу:

$$Z = U / I,$$

где Z – сопротивление петли «фаза-нуль», Ом; U – измеренное испытательное напряжение, В; I – измеренный испытательный ток, А.

По рассчитанному току однофазного КЗ определяют пригодность аппарата защиты, установленного в цепи питания электроприёмника.

В системе IT время автоматического отключения питания при двойном замыкании на открытые проводящие части должно соответствовать таблице 8.2.

Таблица 8.2

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы IT

Номинальное линейное напряжение U_0 , В	Время отключения, с
220	0,8
380	0,4
660	0,2
Более 660	0,1

Для определения времени отключения аппарата защиты после измерения сопротивления петли «фаза-нуль» и расчёта тока однофазного КЗ необходимо использовать время-токовые характеристики данного аппарата.

Условия испытаний и измерений

Измерение сопротивления петли «фаза – нуль» следует производить при положительной температуре окружающего воздуха, в сухую, спокойную погоду. Атмосферное давление особого влияние

на качество проводимых испытаний не оказывает, но фиксируется для занесения данных в протокол.

Влияние нагрева проводников на результаты измерений:

Когда измерения проведены при комнатной температуре и малых токах, чтобы принять в расчет повышение сопротивления проводников в связи с повышением температуры, вызванного током замыкания, и убедиться для системы TN в соответствии измеренной величины сопротивления петли «фаза-нуль» требованиям таблицы 8.1, может быть применена нижеприведенная методика.

Считают, что требования таблицы 8.1 выполнимы, если петля «фаза-нуль» удовлетворяет следующему уравнению:

$$Z_{S(m)} \leq 2U_0 / 3I_a,$$

где $Z_{S(m)}$ – измеренная величина сопротивления петли «фаза-нуль», Ом; U_0 – фазное напряжение, В; I_a – ток, вызывающий автоматическое срабатывание аппаратов защиты в течение времени, указанного в таблице 8.1, или в течение 5 с для стационарных электроприёмников.

Если измеренная величина сопротивления петли «фаза-нуль» превышает $2U_0/3I_a$, более точную оценку соответствия требованиям таблицы 8.1 можно сделать путем измерения величины сопротивления петли «фаза-нуль» в следующей последовательности:

- сначала измеряют сопротивление петли «фаза-нуль» источника питания на вводе электроустановки Z_e ;
- измеряют сопротивление фазного и защитного проводников сети от ввода до распределительного пункта или щита управления;
- измеряют сопротивление фазного и защитного проводников от распределительного пункта или щита управления до электроприемника;
- величины сопротивлений фазного и нулевого защитного проводников увеличивают для учета повышения температуры проводников при протекании по ним тока замыкания. При этом необходимо учитывать величину тока срабатывания аппаратов защиты;

– эти увеличенные значения сопротивления добавляются к величине сопротивления петли «фаза-нуль» источника питания Z_e и в результате получают реальную величину Z_S в условиях замыкания.

Применяемые приборы, инструменты и аппараты

Измерения проводятся специальным прибором типа для измерения параметров электробезопасности, например *MPI-520*, позволяющим определять полное сопротивление петли «фаза-нуль» при наличии напряжения на источнике питания в электроустановках напряжением 380 В с глухозаземленной нейтралью питающего трансформатора. Во время работы применяют инструмент с изолированными ручками и индикатор напряжения.

Методика проведения измерения

Полное сопротивление контура и предполагаемый ток короткого замыкания. В данной функции доступны два режима измерения полного сопротивления контура: режим *Z LOOP* применяется для измерения полного сопротивления контура в системах питания без встроенного УЗО; режим Z_S (УЗО) применяется для измерения полного сопротивления контура в системах питания со встроенным УЗО. Во втором режиме предусматривается функция блокировки срабатывания УЗО.

Полное сопротивление контура представляет собой полное сопротивление контура повреждения при возникновении короткого замыкания на открытых проводящих частях (замыкание между фазным проводником и защитным проводником заземления).

1. Порядок проведения измерения полного сопротивления контура

Шаг 1. С помощью переключателя функций выберите функцию «Контур». Используя кнопки, выберите подфункцию полного сопротивления контура *Z LOOP*. Подключите измерительный кабель к прибору.

Шаг 2. Установите следующие параметры измерения:

- тип предохранителя;
- номинальный ток предохранителя;
- время срабатывания предохранителя;

– масштабный коэффициент I_{SC} .

Шаг 3. Для измерения полного сопротивления контура подключите прибор к испытываемому объекту в соответствии со схемой соединения, приведенной на рисунке 8.1.

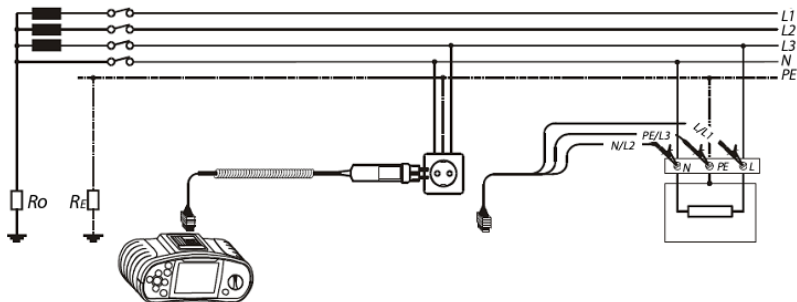


Рис.8.1. Подключение измерительного кабеля с вилкой и 3-проводного измерительного кабеля

Шаг 4. Перед началом измерения проверьте отображаемые на дисплее предупреждения и оперативное напряжение. Если измерение разрешено, нажмите кнопку *TEST*. После завершения измерения на дисплее отображаются результаты измерений и оценка результата.

Отображаемые результаты

Z – полное сопротивление контура; I_{SC} – предполагаемый ток короткого замыкания; Lim – минимальный предел предполагаемого тока короткого замыкания (если применяется). Примечания:

- измерительные выводы L и N автоматически заменяются в следующих случаях: если измерительные провода $L/L1$ и $N/L2$ (3-проводный измерительный кабель) подключены в обратном порядке, если выходы сетевой вилки перепутаны или если щуп «Commander» перевернут;

- минимальный предел тока короткого замыкания зависит от типа предохранителя, номинального тока и времени срабатывания предохранителя, а также от масштабного коэффициента I_{SC} ;

- указанная погрешность измеренных параметров действительна только тогда, когда сетевое напряжение стабильно во время измерений;

- измерение полного сопротивления контура в подфункции *Z LOOP* приводит к срабатыванию УЗО.

2. Функция блокировки срабатывания УЗО

В данной подфункции **Zs (УЗО)** измерение полного сопротивления контура не вызывает срабатывания УЗО, благодаря низкому измерительному току. Данная подфункция также может применяться для измерения полного сопротивления контура в электроустановках, оснащенных УЗО с номинальным током срабатывания 10 мА.

3. Порядок проведения измерения полного сопротивления контура в функции блокировки срабатывания УЗО

Шаг 1. С помощью переключателя функций выберите функцию «Контур». Используя кнопки, выберите подфункцию блокировки срабатывания УЗО *Zs* (УЗО). Подключите измерительный кабель к прибору.

Шаг 2. Установите следующие параметры измерения:

- тип предохранителя;
- номинальный ток предохранителя;
- время срабатывания предохранителя;
- масштабный коэффициент I_{SC} .

Шаг 3. Для измерения полного сопротивления контура в функции блокировки срабатывания УЗО подключите прибор к испытываемому объекту в соответствии со схемой соединения, приведенной на рисунке 8.1. При необходимости воспользуйтесь меню помощи.

Шаг 4. Перед началом измерения проверьте отображаемые на дисплее предупреждения и оперативное напряжение. Если измерение разрешено, нажмите кнопку *TEST*. После завершения измерения на дисплее отображаются результаты измерений и оценка результата.

Отображаемые результаты

Z – полное сопротивление контура; I_{SC} – предполагаемый ток короткого замыкания; **Lim** – минимальный предел предполагаемого тока короткого замыкания (если применяется). Примечания:

- при проведении измерения полного сопротивления контура в функции блокировки срабатывания УЗО, срабатывания УЗО, как правило, не происходит. Однако срабатывание УЗО может произойти вследствие протекания тока утечки по PE-проводнику или в случае наличия емкостного соединения между фазным и защитным проводниками;

- указанная погрешность измеренных параметров действительна только тогда, когда сетевое напряжение стабильно во время измерений.

Полное сопротивление линии и предполагаемый ток короткого замыкания. Полное сопротивление линии – это полное сопротивление токовой петли при возникновении короткого замыкания между фазным и нулевым проводниками в однофазной системе или между двумя фазными проводниками в трехфазной системе.

1. Порядок проведения измерения полного сопротивления линии

Шаг 1. С помощью переключателя функций выберите функцию «Линия». Подключите измерительный кабель к прибору.

Шаг 2. Установите следующие параметры измерения:

- тип предохранителя;
- номинальный ток предохранителя;
- время срабатывания предохранителя;
- масштабный коэффициент I_{SC} .

Шаг 3. Для измерения сопротивления линии фаза – фаза или фаза – нейтраль подключите прибор к испытываемому объекту согласно схеме соединений, приведенной на рисунке 8.2.

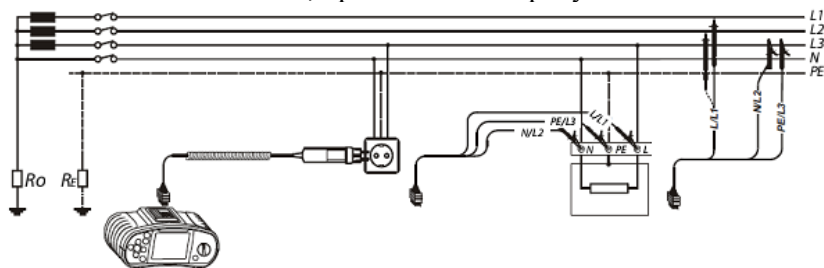


Рис.8.2. Подключение измерительного кабеля с вилкой или 3-проводного измерительного кабеля при измерении полного сопротивления линии

Шаг 4. Перед началом измерения проверьте отображаемые на дисплее предупреждения и оперативное напряжение. Если измерение разрешено, нажмите кнопку *TEST*. После завершения измерения на дисплее отображаются результаты измерений и оценка результата.

Отображаемые результаты

Z – полное сопротивление контура; *I_{SC}* – предполагаемый ток короткого замыкания; *Lim* – минимальный предел предполагаемого тока короткого замыкания (если применяется). Примечания:

- минимальный предел тока короткого замыкания зависит от типа предохранителя, номинального тока и времени срабатывания предохранителя, а также от масштабного коэффициента *I_{PSC}*;

- указанная погрешность измеренных параметров действительна только тогда, когда сетевое напряжение стабильно во время измерений.

Оформление результатов измерений

Результаты измерений оформляются протоколом. Первичные записи рабочей тетради должны содержать следующие данные: дату измерений; температуру; влажность и давление; наименование, тип, заводской номер оборудования; номинальные данные объекта испытаний; результаты испытаний; используемую схему.

По данным испытаний и измерений производятся соответствующие расчёты и сравнения. Вычислив ток однофазного КЗ необходимо определить время срабатывания защитного аппарата по его время-токовой характеристике, и затем дать заключение о времени срабатывания выключателя и его соответствии требованиям ПУЭ. Пример работы с время-токовой характеристикой автоматического выключателя, выполненного в соответствии с ГОСТ Р 50345-99 представлен на рисунке 8.3. Определённый (измеренный, рассчитанный) ток однофазного КЗ откладывается на время-токовой характеристике в виде вертикальной прямой линии. Токи правее зоны срабатывания обеспечивает срабатывание автоматического выключателя с временем менее 0,4 с. Токи внутри зоны срабатывания обеспечивают отключение автоматического выключателя с временем менее 5 с. Таким образом считаем, что для обеспечения требуе-

мого времени срабатывания автоматического выключателя в пределах менее 0,4 с, ток КЗ должен превышать $10I_n$ для автоматического выключателя с характеристикой типа С (работает электромагнитный расцепитель). По оси ординат – время расцепления (с), по оси абсцисс – I/I_n .

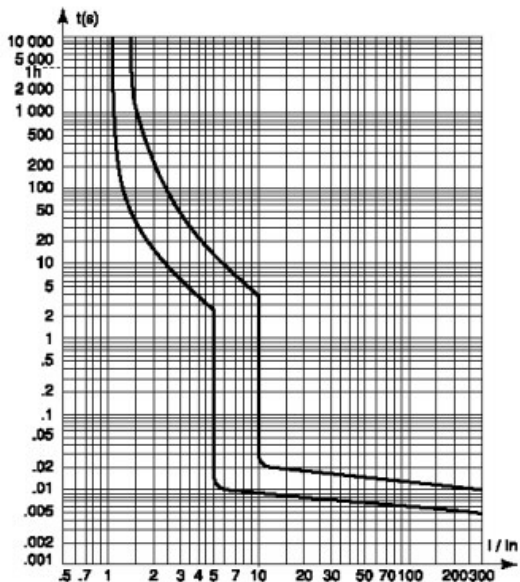


Рис.8.3. Работа с время-токовой характеристикой автоматического выключателя с характеристикой типа С

Если время срабатывания автоматического выключателя должно быть не более 5 с, то в этом случае считаем, что наиболее вероятно срабатывание обратозависимого расцепителя, поэтому для определения зоны срабатывания необходимо пользоваться индивидуальной время-токовой характеристикой конкретного автоматического выключателя. На рисунке 8.3 индивидуальная время-токовая характеристика построена черной линией. При работе с время токовой характеристикой автоматических выключателей промышленного исполнения уставка электромагнитного расцепителя считается основой для определения времени срабатывания. Соответственно при величине однофазного тока КЗ, превышающем уставку

электромагнитного расцепителя, считаем, что автоматический выключатель отключится за время меньше 0,4 с. Для определения тока однофазного КЗ, при котором автоматический выключатель отключится с временем не более 5 с, необходимо, как и в первом случае, пользоваться индивидуальной время-токовой характеристикой для конкретного автоматического выключателя. Цепи с применением УЗО в качестве дополнительных защитных устройств также необходимо проверять на соответствие полного сопротивления петли «фаза-нуль» и времени срабатывания защитных аппаратов, реагирующих на сверхток.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДОК, КАБЕЛЕЙ, ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И АППАРАТОВ ДО 1000 В

Цель проведения измерения

Измерения проводятся с целью проверки соответствия сопротивления изоляции установленным нормам.

Нормируемые величины

Периодичность испытаний и минимальная допустимая величина сопротивления изоляции должны соответствовать указанным в нормах испытаний электрооборудования и аппаратов «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» [3]. Как правило, сопротивление изоляции систем безопасного сверхнизкого напряжения (БССН) и функционального сверхнизкого напряжения (ФССН) измеренное мегаомметром на 250 В должно быть не менее 0.25 МОм, силовых цепей до 500 В (кроме систем БССН и ФССН) измеренное мегаомметром на 500 В должно быть не менее 0.5 МОм, а вторичных цепей - не менее 1 МОм. Сопротивление изоляции силовых цепей выше 500 В измеренное мегаомметром на 1000 В должно быть не менее 1.0 МОм, (ГОСТ Р50571.16-2019). Сопротивление изоляции электропроводок, в том числе и осветительных сетей измеренное мегаомметром на 1000 В должно быть не менее 0.5 МОм (ПТЭЭП п. 28.1).

Применяемые приборы

Для измерения сопротивления изоляции применяется специальные измерительные приборы, например, типа *MPI-520* (на напряжение 100 В, 250 В, 500 В, 1000 В и 2500 В), который имеет собственный источник питания - генератор постоянного тока и позволяют производить непосредственный отсчет показаний в мегаомах и гигаомах.

Измерение сопротивления изоляции электрооборудования

1. Измерение сопротивления изоляции силовых кабелей и электропроводок

При измерении сопротивления изоляции необходимо учитывать следующее: измерение сопротивления изоляции кабелей (за исключением кабелей бронированных) сечением до 16 мм² производится мегаомметром на 1000 В, а выше 16 мм² и бронированных - мегаомметром на 2500 В; измерение сопротивления изоляции проводов всех сечений производится мегаомметром на 1000 В [5, 6].

При этом необходимо производить следующие замеры:

– на 2-проводных и 3-проводных линиях - три замера: *L-N*, *N-PE*, *L-PE*;

– на 4-проводных линиях - 4 замера: *L1-L2L3PEN*, *L2-L3L1PEN*, *L3-L1L2PEN*, *PEN-L1L2L3*, или 6 замеров: *L1-L2*, *L2-L3*, *L1-L3*, *L1-PEN*, *L2-PEN*, *L3-PEN*;

– на 5-проводных линиях - 5 замеров: *L1-L2L3NPE*, *L2-L1L3NPE*, *L3-L1L2PE*, *N-L1L2L3PE*, *PE-NL1L2L3*, или 10 замеров: *L1-L2*, *L2-L3*, *L1-L3*, *L1-N*, *L2-N*, *L3-N*, *L1-PE*, *L2-PE*, *L3-PE*, *N-PE*.

Допускается не проводить измерения сопротивления изоляции в осветительных сетях, находящихся в эксплуатации, если это требует значительных работ по демонтажу схемы, в этом случае, не реже 1 раза в год, требуется выполнять визуальный контроль совместно с проверкой надежности срабатывания средств защиты от сверхтоков (определение токов однофазных замыканий в соответствии с п. 1.7.79 ПУЭ).

Если электропроводки, находящиеся в эксплуатации, имеют сопротивление изоляции менее 0.5 МОм, то заключение об их пригодности делается после испытания их переменным током промыш-

ленной частоты напряжением 1 кВ в соответствии с приведенными в данном издании рекомендациями.

2. Измерение сопротивления изоляции силового электрооборудования

Значение сопротивления изоляции электрических машин и аппаратов в большой степени зависит от температуры. Замеры следует производить при температуре изоляции не ниже +5 С кроме случаев, оговоренных специальными инструкциями. При более низких температурах результаты измерения из-за нестабильного состояния влаги не отражают истинной характеристики изоляции. При существенных различиях между результатами измерений на месте монтажа и данными завода-изготовителя, обусловленных разностью температур, при которых проводились измерения, следует откорректировать эти результаты по указаниям изготовителя.

Степень увлажненности изоляции характеризуется коэффициентом абсорбции, равным отношению измеренного сопротивления изоляции через 60 секунд после приложения напряжения мегаомметра (R_{60}) к измеренному сопротивлению изоляции через 15 секунд (R_{15}):

$$K_{\text{абс}} = R_{60}/R_{15}.$$

При измерении сопротивления изоляции силовых трансформаторов используются мегаомметры с выходным напряжением 2500 В. Измерения проводятся между каждой обмоткой и корпусом и между обмотками трансформатора.

При этом R_{60} должно быть приведено к результатам заводских испытаний в зависимости от разности температур, при которых проводились испытания.

Значение коэффициента абсорбции должно отличаться (в сторону уменьшения) от заводских данных не более чем на 20 %, а его величина должна быть не ниже 1.3 при температуре 10-30 °С. При невыполнении этих условий трансформатор подлежит сушке.

Минимально допустимое сопротивление изоляции для установок, находящихся в эксплуатации, приведены в приложении 3 ПТЭЭП (таблица 28), а для установок, вводимых в эксплуатацию – в гл. 1.8. ПУЭ. Сопротивление изоляции ручных электрических ма-

шин измеряется относительно корпуса и наружных металлических частей при включенном выключателе.

Корпус электроинструмента и соединенные с ним детали, выполненные из диэлектрического материала, на время испытания должны быть обернуты металлической фольгой, соединенной с контуром заземления.

Если сопротивление изоляции при этом будет не менее 10 МОм, то испытание изоляции повышенным напряжением может быть заменено измерением ее сопротивления мегаомметром с выходным напряжением 2500 В в течение 1 минуты.

У переносных трансформаторов измеряется сопротивление изоляции между всеми обмотками, а также между обмотками и корпусом. При измерениях сопротивления изоляции первичной обмотки, вторичная должна быть замкнута и соединена с корпусом.

Сопротивление изоляции автоматических выключателей и УЗО производятся:

1. Между каждым выводом полюса и соединенными между собой противоположными выводами полюсов при разомкнутом состоянии выключателя или УЗО.

2. Между каждым разноименным полюсом и соединенными между собой оставшимися полюсами при замкнутом состоянии выключателя или УЗО.

3. Между всеми соединенными между собой полюсами и корпусом, обернутым металлической фольгой.

При этом для автоматических выключателей бытового и аналогичного назначения (ГОСТ Р50345) и УЗО при измерениях по п.п. 1, 2 сопротивление изоляции должно быть не менее 2 МОм, по п. 3 - не менее 5 МОм.

Для остальных автоматических выключателей (ГОСТ Р50030.2) во всех случаях сопротивление изоляции должно быть не менее 0.5 МОм.

Измерение сопротивления изоляции

1. Общие положения

Перед началом измерений необходимо убедиться, что на испытываемом объекте нет напряжения, тщательно очистить изоляцию вблизи точки замера от пыли и грязи и на 2-3 мин

заземлить объект для снятия с него возможных остаточных зарядов. После окончания измерений испытываемый объект необходимо разрядить кратковременным заземлением.

Для присоединения мегаомметра к испытываемому аппарату или линии следует применять отдельные провода с большим сопротивлением изоляции (обычно не меньше 100 МОм).

Перед использованием мегаомметра следует подвергнуть контрольной проверке, которая заключается в проверке показаний по шкале при разомкнутых и короткозамкнутых проводах. В первом случае на дисплее должно показывать «бесконечность», во втором - около нуля.

Значение сопротивления изоляции в большей степени зависит от температуры. Сопротивление изоляции следует измерять при температуре изоляции не ниже +5 °С кроме случаев, оговоренных специальными инструкциями. При более низких температурах результаты измерения из-за нестабильного состояния влаги не отражают истинной характеристики изоляции.

При измерении сопротивления изоляции относительно земли с помощью мегаомметра зажим «+» рекомендуется подключать к токоведущей части испытываемой установки, а зажим «-» (земля) к ее корпусу. При измерении сопротивления изоляции электрических цепей, не соединенных с землей, подключение зажимов мегаомметра может быть любым.

Для присоединения мегаомметра к испытываемому объекту необходимо иметь гибкие провода с изолированными рукоятками и ограничительными кольцами на концах. Длина проводов должна быть как можно меньшей.

Перед началом измерения необходимо измерить сопротивление изоляции соединительных проводов. Значение этого сопротивления должно быть не менее верхнего предела измерения мегаомметра.

За сопротивление изоляции принимают 60-секундное значение сопротивления R_{60} , зафиксированное по индикатору мегаомметра через 60 с, которое отсчитывается автоматически.

Перед началом измерений необходимо убедиться в отсутствии напряжения на испытываемом объекте, в чистоте проверяемой ап-

паратуры, проводов, кабельных воронок и т.д., а также в том, что все детали с пониженной изоляцией или пониженным испытательным напряжением отключены и закорочены. При наличии на объекте переменного напряжения мегаомметр определит его автоматически. При отсутствии напряжения можно начинать проводить измерения.

Отстыковку кабелей от объекта следует проводить не ранее 10 секунд после окончания подачи испытательного напряжения.

2. Порядок проведения измерения сопротивления изоляции

Шаг 1. Посредством поворотного переключателя выберите функцию «Изоляция». Выберите опцию «R ISO». Подключите измерительный кабель к прибору.

Шаг 2. Установите значения следующих параметров и пределов измерения:

- номинальное измерительное напряжение;
- минимальное предельно допустимое значение сопротивления.

Шаг 3. Подключите измерительный кабель к испытываемому объекту. Для проведения измерения сопротивления изоляции следуйте схеме подключения, показанной на рисунке 9.1. При необходимости обратитесь к меню помощи. Для измерений сопротивления изоляции при напряжении $U_N = 2.5$ кВ должны использоваться специальные измерительные провода, так как испытательный сигнал подается на другие измерительные клеммы, чем при измерениях при $U_N \leq 1$ кВ. Стандартный трехпроводный измерительный кабель, кабель с евровилкой и щупы «commander» могут использоваться только при измерениях сопротивления при напряжении $U_N \leq 1$ кВ.

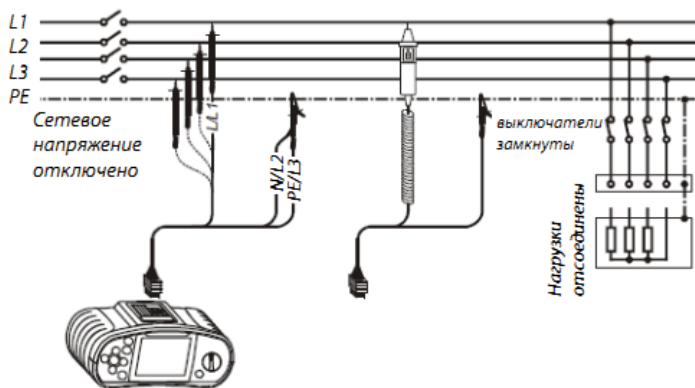


Рис.9.1. Подключение 3-проводного измерительного кабеля и шупа с наконечником ($U_N \leq 1$ кВ)

Для измерений сопротивления изоляции при напряжении $U_N = 2.5$ кВ должен использоваться двухпроводный 2.5 кВ измерительный кабель. Подключение в соответствии со схемой подключения, показанной на рисунке 9.2.

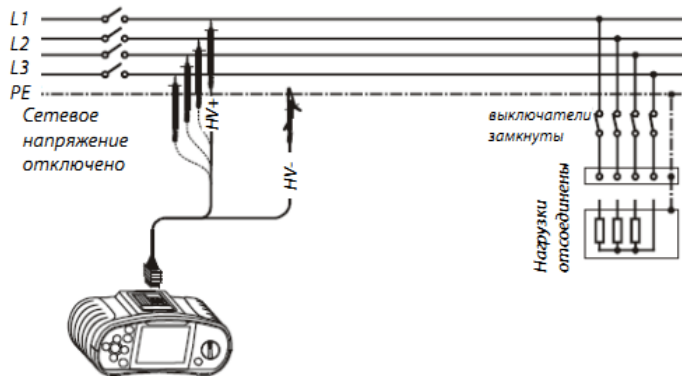


Рис.9.2. Подключение 2-проводного 2.5 кВ измерительного кабеля ($U_N = 1$ кВ)

Шаг 4. Перед началом измерений проверьте отображаемые предупреждения и оперативное напряжение. Если измерение разрешено, нажмите и удерживайте кнопку *TEST*, пока результат не стабилизируется. Во время измерений на дисплее отображается фактическое значение сопротивления. После того, как кнопка *TEST* отпущена, отображается последнее измеренное значение, сопровождаю-

щеся оценкой результата в виде «соответствует/не соответствует» (если применяется).

Отображаемые результаты

R – сопротивление изоляции; Um – измерительное напряжение. Сохраните результаты измерений для дальнейшего документирования. При сохранении, после нажатия кнопки «Память», доступны десять подфункций сопротивления изоляции: *ISO L1/PE, ISO L2/PE, ISO L3/PE, ISO L1/N, ISO L2/N, ISO L3/N, ISO N/PE, ISO L1/L2, ISO L1/L3, ISO L2/L3*.

Процедура измерения сопротивления изоляции протекает одинаково, в независимости от того, какая подфункция выбрана. Однако важно выбирать соответствующую подфункцию, чтобы в дальнейшем правильно классифицировать результаты измерений для их корректного занесения в протоколы измерений.

Предупреждения:

- измерение сопротивления изоляции должно выполняться только на обесточенных объектах;
- при измерении сопротивления изоляции между проводниками электроустановки все нагрузки должны быть отключены и все выключатели выключены;
- нельзя прикасаться к испытываемому объекту во время измерения и до момента его полного разряда (во время разряда на экране прибора отображается специальный значок);
- для измерения сопротивления изоляции напряжением 2.5 кВ используется только двухпроводный кабель, для измерения сопротивления изоляции при других возможных напряжениях используется только трехпроводный кабель;
- в случае присутствия между измерительными клеммами напряжения выше 10 В (постоянного или переменного тока) измерение сопротивления изоляции производиться не будет.

Оформление результатов измерений

Результаты измерения сопротивления изоляции проводов, кабелей, обмоток машин и аппаратов записываются в протокол, заключительная часть которого характеризует качество изоляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абрамович Б.Н.* Электропривод и электроснабжение горных предприятий: учебное пособие / Б.Н. Абрамович., Д.А. Устинов СПб.: [б. и.]. 2004. 84 с.

2. *Абрамович Б.Н.* Электромеханические комплексы горного производства: учебное пособие / Б.Н.Абрамович, А.А.Круглый, Д.А. Устинов СПб.: [б. и.], 2011. 66 с.

3. *Красник В.В.* Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей / В.В. Красник. М.: ЭНАС. 2009. 512 с.

4. *Цапенко Е.Ф.* Электробезопасность на горных предприятиях: учебное пособие / Е.Ф. Цапенко, С.З. Шкундин 2-е изд., стер. М.: Издательство «Горная книга». 2014. 103 с.

5. *Щуцкий В.И.* Электрификация подземных горных работ / В.И. Щуцкий, Н.И. Волощенко, Л.А. Плащанский. М.: Недра. 1986. 364 с.

6. Электрификация открытых горных работ. Под ред. В.И. Щуцкого, М.: Недра. 1987. 331 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа 1. Защита от прямого и непрямого контакта с токоведущими частями в сети с заземленной нейтралью	4
Лабораторная работа 2. Защита от поражения электрическим током с использованием автотрансформатора.....	8
Лабораторная работа 3. Исследование реле утечки	12
Лабораторная работа 4. Защита от однофазного замыкания на землю в сети TN.....	14
Лабораторная работа 5. Защитные устройства в ТТ системах	19
Лабораторная работа 6. Защита от токов утечки на землю в сети с изолированной нейтралью	23
Лабораторная работа 7. Исследование защитного заземления	26
Лабораторная работа 8. Проверка цепи фаза - нуль в электроустановках до 1000 В при системе питания с глухозаземленной нейтралью	27
Лабораторная работа 9. Проведение испытаний и измерений сопротивления изоляции электропроводок, кабелей, вторичных цепей, электрооборудования и аппаратов до 1000 В	38
Библиографический список	46

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *А.Н. Скамын, А.А. Бельский, Ю.Л. Жуковский*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
электроэнергетики и электромеханики

Ответственный за выпуск *А.Н. Скамын*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 31.01.2020. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 2,7. Усл.кр.-отг. 2,7. Уч.-изд.л. 2,4. Тираж 75 экз. Заказ 58. С 24.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2