

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

О.Н. Титаренко, Н.А. Куликова

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине для студентов направления подготовки: 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»
профилей «Электроснабжение», «Нетрадиционные
и возобновляемые источники энергии», «Электрические станции»

Севастополь
СевГУ
2018

УДК 622.31.004:658.382 (075.8)

Т45

Р е ц е н з е н т ы:

Е.В. Гусева - к.т.н., доцент, зав. кафедрой
«Электроэнергетические системы атомных станций»

Ю.И. Рясков - к.т.н., доцент кафедры
«Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети»

В.Г. Слюсаренко - к.т.н., доцент кафедры
«Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети»

Титаренко О.Н.

Т45 **Электробезопасность: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ по дисциплине для студентов направления подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профилей «Электроснабжение», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», «Электрические станции» / О.Н.Титаренко, Н.А. Куликова. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 36 с.**

Изложен порядок выполнения лабораторных работ по изучению работы электрических сетей с различным режимом нейтрали в нормальном и аварийном и проверке эффективности защитного заземления в сетях до 1000 В. Рассмотрены способы проведения измерений сопротивления заземления, определения удельного сопротивления грунта, а также способы исследования сопротивления изоляции электроустановок и определения коэффициента абсорбции.

УДК 622.31.004:658.382 (075.8)

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети» Института ядерной энергии и промышленности ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», протокол № 10/16 от 19 октября 2016 г.

Изд. № 103/17. Объем 2,25 п.л.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© Титаренко О.Н., Куликова Н.А., 2018

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2018

ВВЕДЕНИЕ

В данном учебно-методическом пособии изложены основные сведения о работе электрических сетей с изолированной и глухозаземленной нейтралью, указаны назначение и принцип действия защитного заземления, методы и способы определения удельного сопротивления грунта, а также рассмотрены способы исследования сопротивления изоляции в электроустановках и методы определения коэффициента абсорбции.

Целью данного пособия является приобретение практических навыков в обслуживании сетей с различным режимом нейтрали в нормальном и аварийном режимах работы, проверка эффективности защитного заземления в сетях до 1000 В, в проведении измерений сопротивления заземления, определение удельного сопротивления грунта, а также изучение и практическое исследование сопротивления изоляции электроустановок и определение коэффициента абсорбции.

**Инструктивно-методические указания
по проведению лабораторного занятия Лз-1 на тему
«ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ
В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ»**

Тема: Исследование условий электробезопасности в трехфазных сетях.

Цель: Исследовать влияние режима нейтрали, параметров сети и сопротивления тела человека на силу тока, протекающего через человека при случайном прикосновении к фазному проводу сети или корпусу поврежденной электроустановки.

В результате проведения лабораторного занятия студенты должны **знать:**

1. Теоретическое обоснование опасности при двухполюсном и однополюсном прикосновении к фазным проводам или к корпусам, случайно (вследствие неисправности или аварии) находящимся под фазным напряжением.

2. Зависимость тока через тело человека от параметров сети и режима нейтрали.

3. Зависимость опасности прикосновении к фазным проводам от параметров электрической сети;

уметь:

1. Рассчитать напряжение прикосновения и ток через тело человека в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью в нормальном и аварийном режиме.

2. Провести сравнительную оценку опасности поражения человека током в трехфазных сетях с различными режимами нейтрали.

3. Оценить условия электробезопасности в сетях с изолированной, компенсированной и глухозаземленной нейтралью.

Литература

1. Электробезопасность, теория и практика: учебник для вузов / П.А. Долин, В.Т. Ведмедев и др. – М.: МЭИ, 2012. – 280 с.

2. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок. Справочник. – СПб.: Политехника, 2015. – 400 с.

3. Правила устройства электроустановок. – 7-е издание. – Омега-Л, 2016. – 272 с.

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ

I. Организационные указания

1.1. Ознакомить студентов с содержанием лабораторного занятия № 1 после прохождения темы «Анализ условий электробезопасности в трехфазных сетях» и выдать задание за неделю до начала лабораторного занятия.

1.2. Изучить основные теоретические сведения по теме и уметь ответить на контрольные вопросы (письменно или устно) в начале занятия.

1.3. Предложить студентам начертить принципиальную схему установки с ее описанием, подготовить таблицы наблюдений для опытов на стенде с физической моделью сети с изолированной, компенсированной и глухозаземленной нейтралью.

1.4. При ознакомлении с лабораторной установкой записать в табличной форме оборудование и приборы, используемые при проведении лабораторного занятия.

1.5. Исследования проводить после разрешения преподавателя, под наблюдением сотрудников лаборатории и в последовательности, соответствующей порядку работы, согласно методическим указаниям.

II. Методические указания по проведению работы

Основные теоретические сведения

Опасность поражения человека, прикоснувшегося к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение, оценивается током, проходящим через тело человека, I_h и напряжением прикосновения $U_{пр}$, а также зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжения сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, а также емкости сети относительно земли и т.п.

Однофазное прикосновение в трехфазной сети следует рассматривать как неполное замыкание на землю, причем величина тока I_h прежде всего зависит от режима нейтрали.

1. Сети с изолированной нейтралью

В сетях с изолированной нейтралью ток через человека при касании одной фазы зависит прежде всего от сопротивления изоляции и емкости фаз относительно земли (рис. 1).

$$I_h = \frac{U_\phi g_h}{2} \sqrt{\frac{[3(g_c + g_b) + w\sqrt{3}(c_c - c_b)]^2 + [\sqrt{3}(g_b - g_c) + 3w(c_b + c_c)]^2}{(g_a + g_b + g_c + g_h)^2 + w^2(c_a + c_b + c_c)^2}}, \quad (1)$$

где U_ϕ - фазное напряжение сети;

g_a, g_b, g_c - проводимость изоляции фазных проводов относительно земли;

g_h - проводимость тела человека, $g_h = 1/R_h$;

w, c^{-1} - угловая частота сети, $w = 314 c^{-1}$.

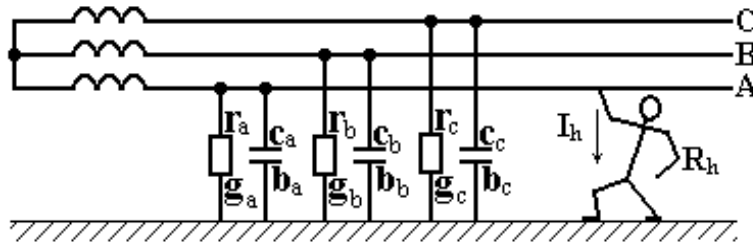


Рис. 1. Однополюсное прикосновение в трехфазной сети с изолированной нейтралью (электрическая схема)

При равенстве сопротивлений утечки и емкости фазных проводов $r_a = r_b = r_c = r$; $c_a = c_b = c_c = c$ ток через человека

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h \sqrt{1 + \frac{r(r + 6R_h)}{gR_h^2(1 + r^2\omega^2c^2)}}}. \quad (2)$$

В случае коротких воздушных сетей сопротивления утечки равны, а емкости фазных проводов малы (можно принять $c \cong 0$). Тогда ток через человека

$$I_h = U_\phi / (R_h + r_b) = 3U_\phi / (3R_h + r). \quad (3)$$

При прикосновении человека к одной фазе в сети с малой емкостью и большим сопротивлением изоляции, если сопротивление фаз относительно земли значительно больше сопротивления цепи человека, т.е. $|Z| \gg R_{ch}$, ток через человека

$$I_h = 3U_\phi / Z. \quad (4)$$

В кабельных сетях обычно емкости фазных проводов равны и значительны, а активные сопротивления изоляции велики: $c_a = c_b = c_c = c$, $r_a = r_b = r_c \rightarrow \infty$.

В этом случае ток, протекающий через человека,

$$I_h = \frac{3U_\phi \omega C}{\sqrt{9R_h^2 \omega^2 C^2 + 1}} \quad (5)$$

2. Сети с заземленной нейтралью

В этих сетях напряжение любой фазы относительно земли равно фазному напряжению сети. Ток, протекающий через человека, прикоснувшегося к одной из фаз (рис. 2)

$$I_h = U_\phi / (R_h + r_0), \quad (6)$$

где r_0 - сопротивление рабочего заземления нейтрали.

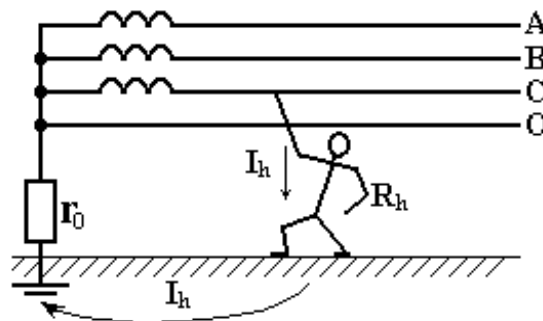


Рис. 2. Прикосновение человека к фазному проводу в сети с заземленной нейтралью

Обычно $r_0 \leq 10$ Ом, а сопротивление цепи человека в расчетах принимают 1000 Ом, т.е. $r_0 \ll R_h$. Тогда

$$I_h \approx U_\phi / R_h \quad (7)$$

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СТЕНДА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ № 1 И 2 ПО ИССЛЕДОВАНИЮ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ

Стенд представляет собой физическую модель трехфазной сети с питающим понижающим трансформатором напряжениями 380/220 В.

В зависимости от режима нейтрали источника тока (понижающего трансформатора) на стенде моделируют следующие схемы сети:

- а) трехпроводная сеть с изолированной нейтралью;
- б) трехпроводная сеть с компенсированной нейтралью;
- в) трехпроводная сеть с заземленной нейтралью;
- г) четырехпроводная сеть с заземленной нейтралью.

Электрическая схема стенда (рис. 3) содержит сосредоточенные сопротивления утечки r_a , r_b , r_c и емкости проводов относительно земли C_a , C_b , C_c ; электрическую схему замещения сопротивления тела человека R_h , сосредоточенные активные сопротивления R_a , R_b , R_c , R_0 и индуктивности L_a , L_b , L_c , L_0 проводов линии; сопротивления рабочего r_o и защитного r_z и r_p заземлений; компенсирующую катушку L_k , $R_{эф}$ – сопротивление эффективного заземления; измерительные приборы: вольтметр U и амперметры A_1 и A_2 , а также необходимые коммутирующие устройства.

В схеме предусмотрена возможность изменения сопротивления утечки (1, 2, 5, 10, 50, 400 кОм и ∞), емкости фаз относительно земли (0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,6 мкФ), активной составляющей сопротивления тела человека (1, 2, 4, 5, 10 кОм), а также сопротивления защитного заземления r_z , значительно превышающего норму и соответствующего норме.

Стенд снабжен вертикальной панелью с расположенными на ней измерительными приборами, фиксирующими параметры электробезопасности: ток через тело человека I_h , напряжение прикосновения $U_{пр}$.

Правила техники безопасности при работе на стенде

1. Перед выполнением работы необходимо тщательно ознакомиться с принципиальной схемой, панелью измерений и панелью управления.
2. Перед включением схемы стенда необходимо проверить положение коммутирующих устройств, которые должны быть в исходном положении.
3. Все включения, отключения и переключения разрешаются только после проверки схемы преподавателем или инженером лаборатории.
4. По окончании каждой работы все коммутирующие устройства на стенде должны быть приведены в исходное положение.

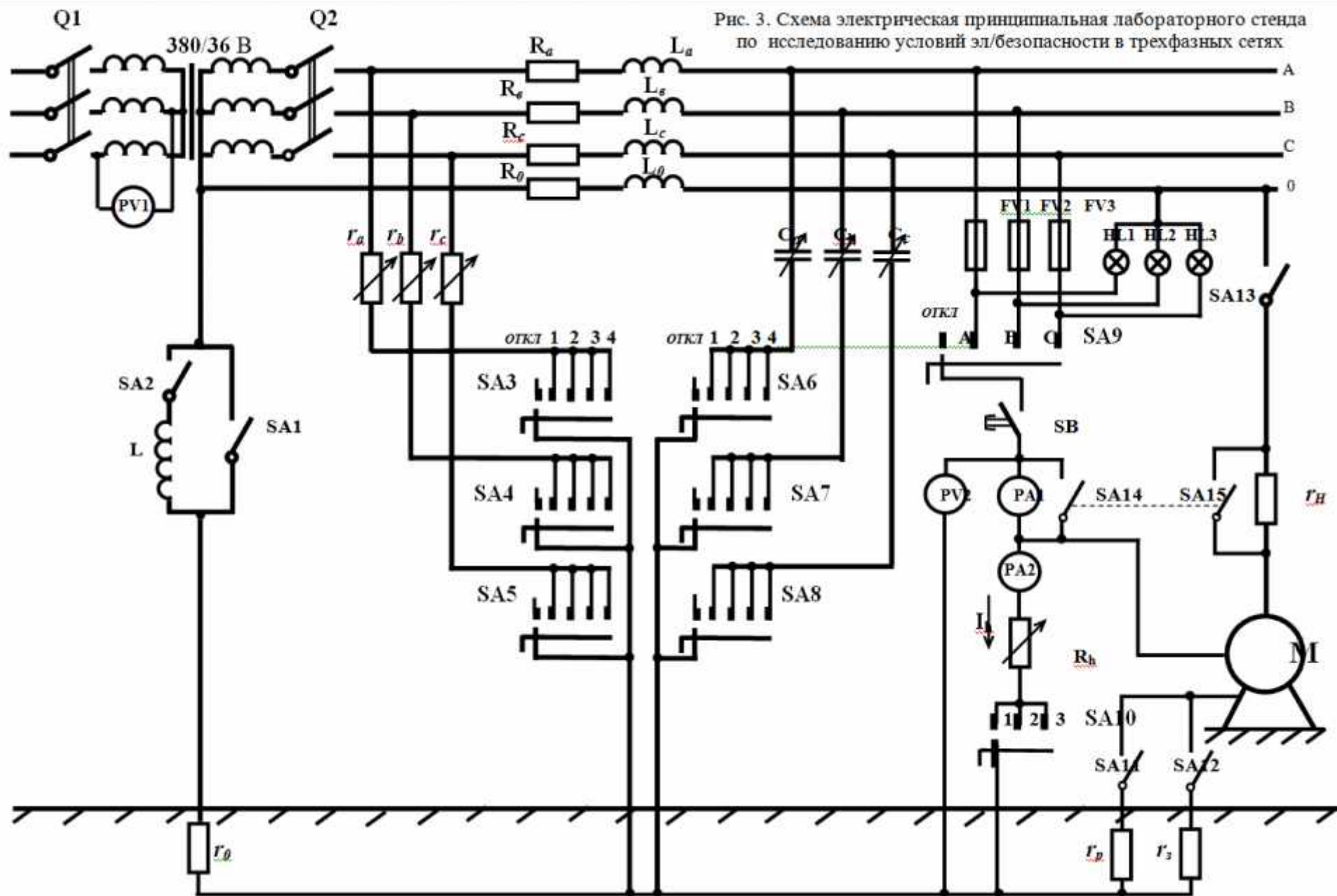


Таблица исследований

№	Режим нейтрали	R _h , кОм	Сопротивление изоляции (утечки)			Емкость сети относ. земли, мкФ			Ток, протекаю- щий через человека, I _h , мА			Напряжение при- косновения, В			Построить графики
			r _a	r _b	r _c	c _a	c _b	c _c	I _{h a}	I _{h b}	I _{h c}	U _{ha}	U _{hb}	U _{hc}	
1	Сеть с изоли- рован. ней- тралью	1				0	0	0							I _h = f(r) U _{np} = f(r)
		1				0	0	0							
		1				0	0	0							
		1				0	0	0							
2	-«-	1	∞	∞	∞										I _h = f(c) U _{np} = f(c)
		1	∞	∞	∞										
		1	∞	∞	∞										
		1	∞	∞	∞										
3	-«-	1				0,1	0,1	0,1							Графики совместить I _h = f(r) U _{np} = f(r)
		1				0,1	0,1	0,1							
		1				0,1	0,1	0,1							
		1				0,1	0,1	0,1							
4	-«-	1				2,0	2,0	2,0							
		1				2,0	2,0	2,0							
		1				2,0	2,0	2,0							
		1				2,0	2,0	2,0							
5	-«-	1		10кОм	10кОм	0	0	0							I _{ha} = f(r _a) I _{hbc} = f(r _a) U _{np} = (r _a)
		1		10кОм	10кОм	0	0	0							
		1		10кОм	10кОм	0	0	0							
		1		10кОм	10кОм	0	0	0							
6		1	0,18кОм	0,18кОм	0,18кОм	2,0	2,0	2,0							I _h = f(R _h) U _{np} = f(R _h)
		2,2	0,18кОм	0,18кОм	0,18кОм	2,0	2,0	2,0							
		22	0,18кОм	0,18кОм	0,18кОм	2,0	2,0	2,0							
7	Сеть с за- земл. нейтра- лью	1	∞	∞	∞	0	0	0							
8	-«-	1 2,2 22													I _h = f(R _h) U _{np} = f(R _h)

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Сеть с изолированной нейтралью

1. Ознакомиться с электрической схемой (см. рис. 3), расположением и назначением отдельных элементов схемы (см. прил., табл. 1).

2. Проверить исходное положение всех коммутирующих элементов, обеспечивающих исследуемый режим нейтрали.

3. Подать напряжение на схему стенда включением выключателя Q_1 .

4. Установить переключатель SA-10 в положение 1 ($R_h = 1 \text{ кОм}$).

5. Исследовать влияние сопротивления утечки сети на силу тока I_h и напряжения $U_{пр}$ при $r_a = r_b = r_c$ и $C_a = C_b = C_c = 0$. Переключатели SA6, SA7, SA8 установить в положение “0”, включить тумблер “замыкание”, переключателями SA3, SA4, SA5 симметрично изменять сопротивление утечки.

Наблюдать за изменением тока, протекающего через человека (по миллиамперметру PA2), и напряжения на нем (по вольтметру PV2). Показания приборов занести в таблицу наблюдений (см. прил., табл. 2) (опыт 1).

Переключателем SA9 подключить R_h поочередно к различным фазам. После окончания измерений переключатели SA3, SA4, SA5 привести в исходное положение «0».

Т а б л и ц а 1

Таблица наблюдений

Режим ней- трали	R_h , кОм	Сопротивле- ние изоляции (утечка)			Емкость сети относительно земли, мкФ			Ток, протека- ющий через человека (R_h), мА			Напряжение прикосновения, В		
		r_a	r_b	r_c	C_a	C_b	C_c	I_{ha}	I_{hb}	I_{hc}	U_{ha}	U_{hb}	U_{hc}

6. Исследовать влияние емкости сети на силу тока, протекающего через человека, и напряжение прикосновения при $C_a = C_b = C_c = C$ и $r_a = r_b = r_c \rightarrow \infty$. Переключатели SA3, SA4 и SA5 должны находиться в положении “ ∞ ”. Симметрично изменяя емкость фазных проводов относительно земли (переключатели SA6, SA7, SA8), наблюдать за изменением тока (по миллиамперметру PA2), протекающего через человека, и напряжения на нем (по вольтметру PV2). Данные наблюдения занести в таблицу (опыт 2). Переключателем SA10 подключать модель человека (R_h) поочередно к различным фазам. По окончании измерений переключатели SA6, SA7 и SA8 привести в исходное положение «0».

7. Провести исследования для реальной сети, то есть при $r_a = r_b = r_c$ и $C_a = C_b = C_c = C$. По окончании измерений переключатели перевести в исходное положение (опыт 3, 4).

8. Установить влияние сопротивления утечки одной из фаз (например, фазы А) на условия безопасности эксплуатации сети. Переключатели SA6, SA7, SA8 оставить в положении «0», а SA4 и SA5 установить в положении 10 кОм. Изменяя сопротивление изоляции фазы А переключателем SA3, исследовать параметры I_h и $U_{пр}$ аналогично п.п. 6 и 7. По окончании измерений переключатели r_a , r_b и r_c перевести в исходное положение ∞ (опыт 5).

9. Исследовать влияние сопротивления тела человека на силу тока I_h и напряжение прикосновения $U_{пр}$. Исследования проводить для самого худшего случая $r_a = r_b = r_c = 0,18$ кОм, $C_a = C_b = C_c = 2,0$ мкФ. Установить соответствующими переключателями требуемые сопротивления и емкости фазных проводов. Изменяя переключателем R_h сопротивление тела человека, исследовать I_h и $U_{пр}$. По окончании исследований все переключатели перевести в исходное положение (опыт 6).

10. Выключить стенд.

11. Построить графики зависимостей:

$I_h = f(r)$ и $U_{пр} = f(r)$ по данным п. 5;

$I_h = f(C)$ и $U_{пр} = f(C)$ по данным п. 6;

$I_h = f(r)$ и $U_{пр} = f(r)$ при значениях емкости C_1 и C_2 (графики можно совместить по данным п. 7);

$I_{ha} = f(r_a)$, $I_{hb,c} = f(r_a)$ и $U_{hb,c} = f(r_a)$ по данным п. 8;

$I_h = f(R_h)$, $U_{пр} = f(R_h)$ по данным п. 9.

12. Сделать выводы.

2. Сеть с заземленной нейтралью

1. Ознакомиться с принципиальной и монтажной электрической схемой и содержанием работы.

2. Подать напряжение на стенд включением выключателя Q_1 (см. рис. 1).

3. Заземлить нулевую точку источника питания (с низкой стороны трансформатора) включением переключателя SA1.

4. Установить переключатель SA10 в положение “1” ($R_h = 1$ кОм).

5. Включить переключатель SA9 и нажать кнопку S3. По миллиамперметру PA2 и вольтметру PV2 определить соответственно I_h и $U_{пр}$. Данные занести в таблицу (опыт 7).

6. Выяснить, влияют ли сопротивления утечки и емкости сети на I_h и $U_{пр}$. Для этого установить 2-3 значения симметричных сопротивлений утечки и емкости сети

$$r_a = r_b = r_c = r \quad \text{и} \quad C_a = C_b = C_c = C,$$

определить по показаниям миллиамперметра РА2 и вольтметра РВ2 I_h и $U_{пр}$. Данные измерений занести в таблицу (опыт 8). По окончании исследований переключатели установить в исходное положение.

7. Исследовать влияние сопротивления тела человека на силу тока I_h и напряжение $U_{пр}$. Изменяя переключателем SA10 сопротивление R_h , наблюдать за изменением I_h и $U_{пр}$. Данные наблюдений занести в таблицу (опыт 9).

8. Выключить стенд, все переключатели и выключатели вернуть в исходное положение (с отключением от источника питания).

9. Построить графики $I_h = f(R_h)$ и $U = f(R_h)$ и сделать выводы.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Сравнивая и сопоставляя результаты исследований I_h и $U_{пр}$ при различных условиях работы сети с изолированной и заземленной нейтралью, сделать выводы об условиях электробезопасности при эксплуатации этих сетей.

2. Сделать выводы о зависимости тока, протекающего через тело человека, от R_h :

$$(I_h = f(R_h)).$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Ф.И.О. студента.
4. Краткие теоретические сведения.
5. Принципиальная схема стенда.
6. Таблица исследований.
7. Построение графиков.
8. Выводы по результатам исследований.

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

1. Как выполняются трехфазные сети в зависимости от режима нейтрали источника тока и наличия нейтрального или нулевого проводника?
2. В чем заключаются особенности нейтральной и нулевой точки?
3. Что называется глухозаземленной нейтралью?
4. Какие две схемы применяются в странах СНГ при напряжении до и выше 1000 В?
5. Какие могут быть схемы включения человека в цепь тока?

6. От чего зависит опасность прикосновения человека к фазному проводу в трехфазных сетях с изолированной нейтралью в период нормальной работы сети?

7. Под каким напряжением окажется человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью?

8. Как зависят I_h и $U_{пр}$ в трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью в период ее нормальной работы ?

9. Под каким напряжением оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью?

10. От каких параметров зависят I_h и $U_{пр}$ в сети с изолированной нейтралью?

11. От каких параметров зависит ток, протекающий через человека, и $U_{пр}$ на нем при однофазном прикосновении в сети с заземленной нейтралью?

12. Как влияет сопротивление утечки фазных проводов на ток через человека и $U_{пр}$ в сетях с изолированной и заземленной нейтралями?

13. Как влияет емкость проводов относительно земли на ток I_h и напряжение $U_{пр}$ в сетях с изолированной и заземленной нейтралями?

14. Как влияет сопротивление утечки одной фазы на безопасность эксплуатации сети с изолированной нейтралью?

15. Как влияет сопротивление цепи человека на безопасность эксплуатации электрических сетей?

**Инструктивно-методические указания
по проведению лабораторного занятия Лз-2 на тему
«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК
В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ»**

Тема: Исследование эффективности защитного заземления электроустановок в сети с изолированной нейтралью.

Цель: 1. Ознакомиться с принципом работы защитного заземления.
2. Оценить влияние сопротивления току растекания на эффективность защитного заземления в электроустановках напряжением до 1000 В при изменении сопротивления изоляции и емкости электрической сети относительно земли.

В результате проведения лабораторного занятия студенты должны **знать:**

1. Теоретическое обоснование применения защитного заземления.
2. Требования нормативных документов к величине сопротивления заземляющего устройства.
3. Зависимость тока через человека, прикоснувшегося к заземленному корпусу, оказавшемуся под напряжением, или попавшего под шаговое напряжение, от тока замыкания на землю;

уметь:

1. Рассчитать и оценить опасность прикосновения человека к нетоковедущим частям электроустановки в сетях с изолированной нейтралью в нормальном и аварийном режиме.
2. Провести сравнительную оценку опасности поражения человека током при наличии и отсутствии защитного заземления.
3. Объяснить область применения защитного заземления.

Литература

1. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник / Р.К. Борисов и др. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 360 с.: ил.
2. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок. Справочник. – СПб.: Политехника, 2015. – 400 с.
3. Чекулаев В.Е., Горожанкина Е.Н. Охрана труда и электробезопасность. - М.: ФГБОУ, 2012. - 304 с.
4. Правила устройства электроустановок. – 7-е издание. – Омега-Л, 2016. – 272 с.

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ

Основные теоретические сведения

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с заземлителем нетоковедущих металлических частей электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением из-за нарушения изоляции и перехода напряжения с токоведущих частей.

Область применения защитного заземления - электрические сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и выше 1000 В с любым режимом нейтрали (рисунок).

Принцип действия защитного заземления в сетях с изолированной нейтралью состоит в снижении до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус. Это достигается уменьшением потенциала заземленного оборудования, а также выравниванием потенциалов, то есть повышением потенциала основания до потенциала заземленного оборудования. В электроустановках напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью замыкание на корпус благодаря наличию защитного заземления является коротким. При этом срабатывает максимальная токовая защита и поврежденный участок электроустановки отключается.

В соответствии с ПУЭ заземлению подлежат корпуса электрооборудования при напряжении переменного тока 380 В и выше и постоянного тока 440 В и выше во всех электроустановках; при номинальных напряжениях переменного тока выше 42 В и постоянного тока выше 110 В – только в электроустановках в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках; при любом напряжении переменного и постоянного тока – во взрывоопасных установках.

Рассмотрим случай прикосновения человека к заземленному корпусу поврежденного электрооборудования, который получает питание от сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью (см. рис. а). Так как сети напряжением до 1000 В обычно короткие, можно пренебречь емкостью фазных проводов по отношению к земле ($C_a = C_b = C_c = 0$) и принять сопротивления утечки равными $r_a = r_b = r_c = r$. Тогда ток, протекающий через человека,

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r/3 + R_h r / (3r_3)};$$

так как $R_h + r/3 \ll R_h r / (3r_3)$, то ток, протекающий через человека, определяется в основном третьим слагаемым и будет тем меньше, чем меньше сопротивление заземляющего устройства r_3 .

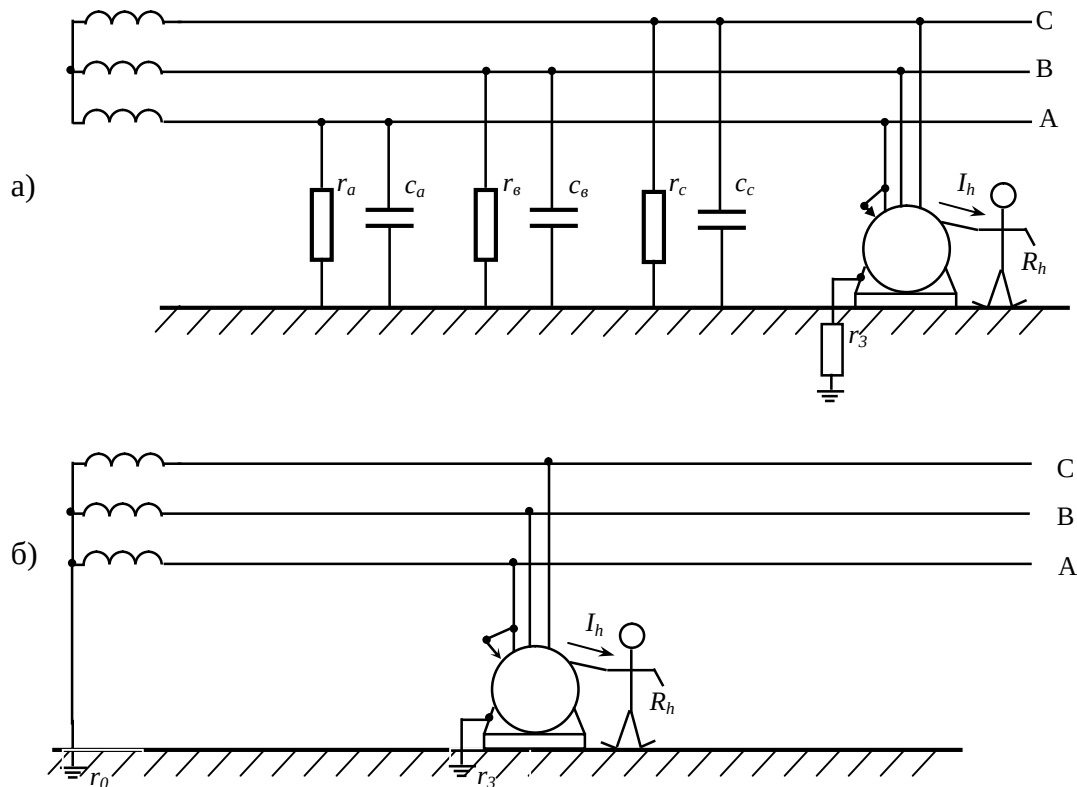


Рис. 3. Схема защитного заземления: а - в электроустановках до 1000 В и выше при изолированной нейтрали питающей сети; б - в электроустановках выше 1000 В при эффективно заземленной нейтрали питающей сети

ПУЭ ограничивает наибольшие сопротивления заземления:

- а) для электроустановок напряжением до 1000 В:
 - при суммарной мощности генераторов или трансформаторов в питающей сети не более 100 кВт или 100 кВ·А – 10 Ом;
 - в остальных случаях – 4 Ом;
- б) для электроустановок напряжением выше 1000 В:
 - при эффективно заземленной нейтрали питающей сети (напряжениях 110 кВ и выше и больших токах замыкания на землю) – 0,5 Ом;
 - при изолированной нейтрали питающей сети (напряжениях до 35 кВ включительно) и условии, что заземлитель используется только для электроустановок напряжением выше 1000 В, – $250 / I_3 \leq 10$ Ом;
 - то же, но при условии, что заземлитель используется одновременно для электроустановок напряжением до 1000 В, – $125 / I_3$; при этом принимается наименьшее рассчитанное сопротивление или требуемое для электроустановок напряжением до 1000 В.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с электрической схемой стенда (см. прил. Лз-1).

2. Подать напряжение на стенд включением Q_1 и Q_2 .
3. Установить переключатель SA 10 в положение «1» ($R_h = 1 \text{ кОм}$).
4. Исследовать зависимость тока, протекающего через человека и напряжения на нем, от сопротивления утечки сети при прикосновении к незаземленному корпусу поврежденного оборудования. Выключатели SA 11 и SA 12 отключены.

Исследования провести для электрической сети с симметричным сопротивлением изоляции в фазах 10 кОм, 2,5 кОм, 1,0 кОм, 0,18 кОм при емкости сети 0 мкФ и 2,0 мкФ, опыт 1 и 2 (см. табл. исследований). Сопротивления утечки фаз электрической сети переключать переключателем SA 3, SA 4, SA 5; значение емкости электрической сети - переключателями SA 6, SA 7, SA 8. Силу тока, протекающего через человека и напряжение на нем, снять по показаниям приборов PA 2 и PV 2 и записать в таблицу исследований. Переключение фаз электрической сети на корпус электроустановки производится переключателем SA 9 и кнопкой с самовозвратом SB. По окончании исследований переключатели SA 3 - SA 8 привести в исходное положение.

5. Исследовать зависимость тока, протекающего через человека и напряжения на нем, в случае прикосновения к корпусу поврежденной электроустановки, соединенному с заземлителем, сопротивление которого выше нормы. Заземлить корпус электроустановки через r_3 включением SA 12 и провести исследования, аналогичные п. 4. По окончании исследований переключатели SA 3 - SA 8, выключатель SA 12 вернуть в исходное состояние.

6. Провести исследования, аналогичные п. 5, когда корпус электроустановки соединен с заземлителем, сопротивление которого соответствует норме. Для этого заземлить корпус электроустановки через r_p включением SA 11. По окончании исследований переключатели SA 3 - SA 8 и выключатель SA 11 вернуть в исходное состояние.

7. Выключить стенд.

8. Построить графики зависимостей $I_h = f(r)$ и $U_h = f(r)$ для случаев прикосновения к незаземленному корпусу и заземленному с большим сопротивлением заземления и с сопротивлением заземления, соответствующим норме. Зависимость $I_h = f(r)$ для всех случаев построить на одном графике, а $U_h = f(r)$ - на другом.

9. Сделать выводы о зависимости тока, протекающего через человека и напряжения прикосновения от характеристики заземления корпуса.

Таблица исследований

№ п/п	Характеристика заземления корпуса	Сопротивление человека	Сопротивление изоляции $r_a = r_b = r_c = r$	Емкость сети относительно земли $C_a = C_b = C_c = C$	Ток, протекающий через человека	Напряжение прикосновения	Построить графики
1	Обрыв заземления электроустановки	R_h (кОм)	r (кОм)	C (мкФ)	I_h (мА)	U_h (В)	
		1,0	10	0			
		1,0	2,5	0			$I_h = f(r)$
		1,0	1,0	0			$U_h = f(r)$
		1,0	0,180	0			
2	Обрыв заземления электроустановки	1,0	10	2			
		1,0	2,5	2			$I_h = f(r)$
		1,0	1,0	2			$U_h = f(r)$
		1,0	0,180	2			
3	Заземление электроустановки выше нормы	1,0	10	0			
		1,0	2,5	0			$I_h = f(r)$
		1,0	1,0	0			$U_h = f(r)$
		1,0	0,180	0			
4	Заземление электроустановки выше нормы	1,0	10	2			
		1,0	2,5	2			$I_h = f(r)$
		1,0	1,0	2			$U_h = f(r)$
		1,0	0,180	2			
5	Заземление электроустановки в норму	1,0	10	0			
		1,0	2,5	0			$I_h = f(r)$
		1,0	1,0	0			$U_h = f(r)$
		1,0	0,180	0			
6	Заземление электроустановки в норму	1,0	10	2			
		1,0	2,5	2			$I_h = f(r)$
		1,0	1,0	2			$U_h = f(r)$
		1,0	0,180	2			

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Построить графики зависимости $I_h = f(r)$ для всех шести случаев на одном графике, а для $U_h = f(r)$ - на другом.
2. Сделать выводы о зависимости тока, протекающего через человека и напряжения прикосновения от характеристики заземления корпуса.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Титульный лист.
2. Название работы.
3. Цель работы.
4. Ф.И.О. студента, класс, дисциплина.
5. Принципиальная схема измерений.
6. Таблица исследований.
7. Построение графиков.
8. Выводы по результатам исследований.

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

1. Что называется защитным заземлением электроустановок?
2. Объясните условия применения защитного заземления и его принцип действия.
3. Назовите допустимые сопротивления защитного заземления.
4. Как влияет сопротивление утечки сети с изолированной нейтралью на ток, который проходит через человека и напряжение на нем при прикосновении к незаземленному и заземленному корпусу поврежденного электрооборудования?
5. Как влияет сопротивление заземления на ток, протекающий через человека и напряжение на нем?
6. Объяснить принцип действия выносного и контурного защитного заземления.

**Инструктивно-методические указания
по проведению лабораторного занятия Лз-3 на тему
«ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА»**

Тема: Измерение сопротивления заземления и определение удельного сопротивления грунта.

Цель: изучение приборов и методов измерения сопротивления заземления и удельного сопротивления грунта.

В результате проведения лабораторного занятия студенты должны **знать:**

1. Теоретическое обоснование и сущность существующих методов измерения сопротивления заземления растеканию тока в грунте и определения (измерения) удельного сопротивления грунта.
2. Особенности специализированных приборов и методики их использования для измерений сопротивления заземления и удельного сопротивления грунта.
3. Наибольшие допустимые значения сопротивления заземляющего устройства ($R_{\text{зу}}$), установленные «Правилами устройства электроустановок».
4. Устройство одиночного и группового заземлений;

уметь:

1. Провести измерения сопротивления заземления:
 - а) методом амперметра, вольтметра;
 - б) с помощью измерителя заземления типа МС-08.
2. Провести замеры параметров для определения удельного сопротивления грунта с помощью прибора МС-08 и рассчитать его в однородном грунте.
3. Оценить эффективность заземлителя по результатам измерений с точки зрения условий электробезопасности.
4. Заполнить протокол измерений.

Литература

1. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник / Р.К. Борисов и др. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 360 с.: ил.
2. Электробезопасность, теория и практика: учебник для вузов / П.А. Долин, В.Т. Ведмедев и др. – МЭИ, 2012. – 280 с.
3. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок. Справочник. – СПб.: Политехника, 2015. – 400 с.
4. Правила устройства электроустановок. – 7-е издание. – Омега-Л, 2016. – 272 с.

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ

1. Основные определения и конструктивные особенности заземляющего устройства (защитного заземления)

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников. Заземляющими проводниками называют металлические проводники, соединяющие заземляемые части электроустановки с заземлителем. По расположению заземлителей относительно заземленных корпусов заземления делятся на выносные и контурные.

Выносное заземление характерно тем, что заземлители располагаются на некотором удалении от заземляемого оборудования.

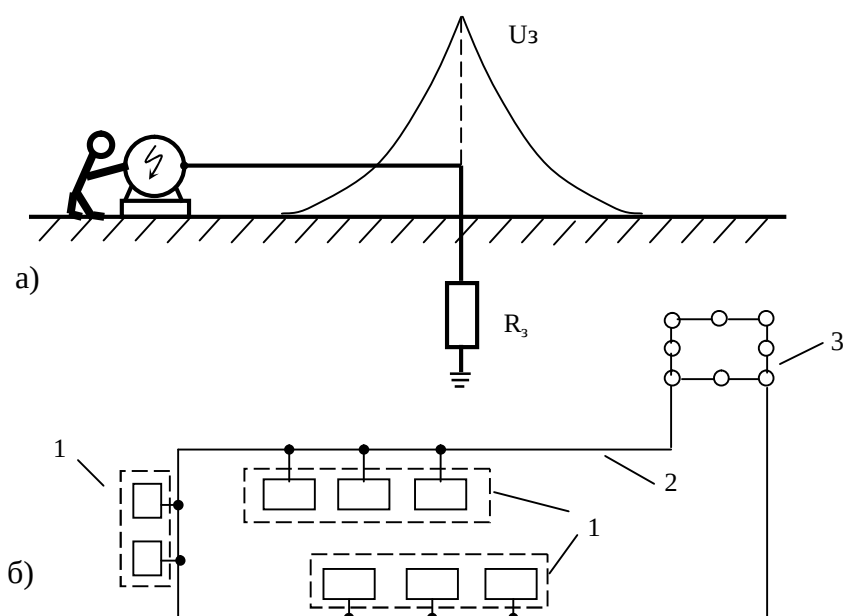


Рис. 4. Выносное заземление:
а - принципиальная схема; б - вид в плане: 1- заземляемое
оборудование; 2 - заземляющие проводники; 3 - заземлитель

Ввиду этого заземленные корпуса обычно находятся вне поля растекания тока в грунте, и человек, касаясь корпуса, оказывается под полным напряжением относительно земли, если не учитывать коэффициент α_2 в формуле напряжения прикосновения $U_{пр} = U_3 \alpha_1 \alpha_2$. Так как $\alpha_1 = 1$, то ток, проходящий через человека, $I_h = I_3 R_3 / R_h$.

Итак, выносное заземление защищает только за счет малого сопротивления заземления.

Контурное заземление состоит из ряда параллельно соединенных электродов заземлителя, расположенных по контуру (периметру) заземленного оборудования на небольшом расстоянии друг от друга, и любая

точка поверхности грунта внутри корпуса имеет значительный потенциал. Вследствие этого разность потенциалов между точками, находящимися внутри контура, снижена и коэффициент напряжения прикосновения α_1 намного меньше единицы.

Коэффициент напряжения шага также меньше единицы. Ток, проходящий через человека, касающегося поврежденного (под напряжением) корпуса, меньше, чем при выносном заземлении.

Устройство искусственных заземлителей состоит из металлических стержней длиной 2,5...3 м, погружаемых вертикально в землю (грунт) в специально подготовленной траншее (рис. 5).

Вертикальные заземлители соединяются стальной шиной, которая приваривается к каждому заземлителю.

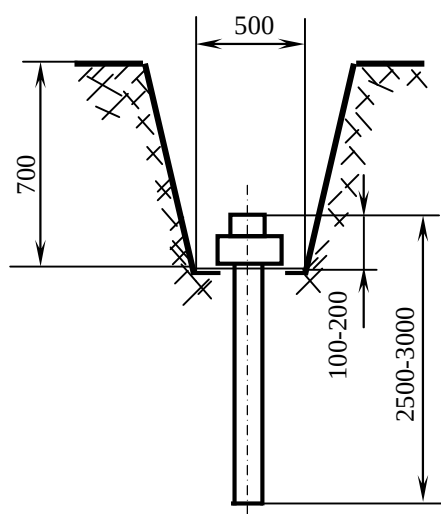


Рис. 5. Устройство искусственного заземлителя, погружаемого вертикально в грунт (разрез с основными размерами)

2. Нормирование параметров защитного заземления

Поскольку заземление должно обеспечивать безопасность при прикосновении к нетоковедущим частям, случайно оказавшимся под напряжением, и при возникновении шагового напряжения нормированию подлежат наибольшие допустимые напряжения прикосновения внутри контура, наибольшее шаговое напряжение и напряжение относительно земли. Эти величины не должны превышать длительно допустимые $U_{пр} \leq U_{пр д.д.}$; $U_{ш} \leq U_{ш д.д.}$.

Исходя из этих условий можно нормировать сопротивление заземления R_z и коэффициенты напряжения прикосновения α_1 и шага β_1 , учитывая

величину тока замыкания на землю I_z . Расчетный ток замыкания на землю – наибольший возможный в данной установке ток замыкания на землю.

В сетях напряжением до 1000 В ток однофазного замыкания на землю обычно не превышает 10 А, так как при нормальном состоянии изоляции и емкости сопротивление фазы относительно земли не бывает менее 100 Ом ($r > 100 \text{ Ом}$) [1].

В электроустановках выше 1000 В с изолированной нейтралью в качестве расчетного тока принимают ток, обусловленный только емкостью, вычисленный по формуле

$$I_z = \sqrt{3}U_\phi(3,5l_k + l_v)/35,$$

где U_ϕ - фазное напряжение, кВ;

l_k - общая длина подключенных к сети кабельных линий, км;

l_v - общая длина подключенных к сети воздушных линий, км.

В ПУЭ нормируется сопротивление заземляющих устройств в зависимости от напряжения электроустановки и мощности источников питания.

В электроустановках напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью сопротивление заземляющих устройств должно быть не более 4 Ом. При мощности источников питания (трансформаторов, генераторов), подключенных к сети, составляющей 100 кВА и меньше, заземляющие устройства могут иметь сопротивление не более 10 Ом.

В электроустановках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью (6...35 кВ) сопротивление заземляющего устройства при протекании расчетного тока замыкания на землю должно быть не более (Ом):

1) если заземляющее устройство одновременно используется для электроустановок напряжением до 1000 В, то $R_z = 125/I_z$;

2) если заземляющее устройство используется только для электроустановок напряжением выше 1000 В, то $R_z = 250/I_z$.

В электроустановках свыше 1000 В с глухозаземленной нейтралью (110...750 кВ) заземляющие устройства следует выполнять, как правило, с соблюдением требований, предъявляемых к напряжению прикосновения. Ввиду этого напряжение заземлителя относительно земли при наибольшем токе замыкания на землю рекомендуется ограничить величиной 5 кВ.

Допускается выполнение заземляющего устройства в этих установках, при которых его сопротивление не должно превышать 0,5 Ом.

3. Контроль заземления

Внешний осмотр и измерение сопротивления заземляющих устройств производится при приемке в эксплуатацию и периодически в сроки, установленные правилами, при перестановке оборудования и ремонте заземли-

телей. Между заземляемыми объектами и заземлителями должна быть надежная цепь, не должно быть обрывов и неудовлетворительных контактов.

Одним из методов измерения сопротивления растеканию контрольного зонда (сопротивление заземления) является *метод амперметра - вольтметра*.

Сущность метода заключается в том, что с помощью амперметра измеряется ток I_x , проходящий через контрольный зонд (вертикальный электрод) в землю, а с помощью вольтметра - потенциал этого зонда ϕ_k . В результате получаем искомое сопротивление растеканию контрольного зонда, Ом:

$$R_{\text{изм}} = \phi_x / I_x.$$

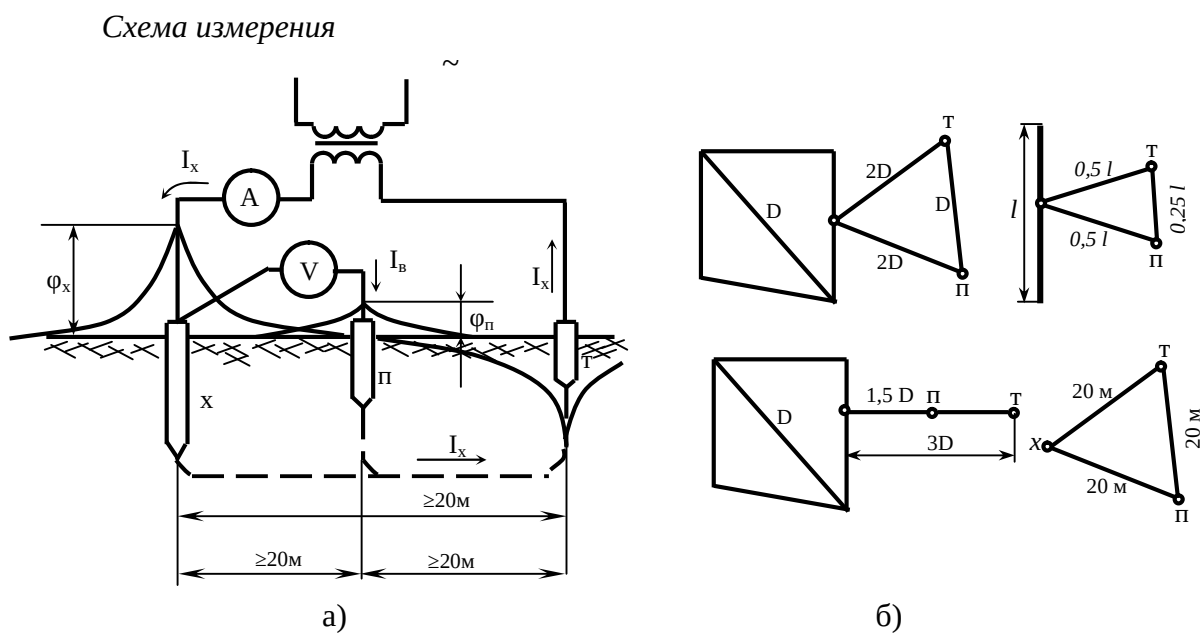


Рис. 6. Измерение сопротивления растеканию контрольного зонда (электрода) X и заземлителей различной конфигурации методом амперметра – вольтметра: а – схема измерения; б – рекомендуемое взаимное расположение электродов (зондов) и минимальное расстояние между ними и испытуемым заземлителем

Эта же схема может быть использована для измерения сопротивления группового заземлителя. При этом расстояния между заземлителями и электродами должно быть не менее указанного на рис. 6.

В качестве источника тока применяется однофазный понижающий трансформатор. Питание непосредственно от сети недопустимо, так как всякая связь сети с землей (заземленная нейтраль, плохая изоляция) существенно понижает результаты измерений.

Сопротивление растеканию контрольного зонда (заземлителя), а также сопротивление заземляющих устройств можно измерять различными приборами для измерения малых сопротивлений, в том числе специальны-

ми измерительными приборами сопротивления заземления М-416, М-372 и широко известными приборами МС-08.

4. Определение удельного сопротивления грунта

Удельное электрическое сопротивление грунта измеряется методом контрольного электрода или методом четырех электродов.

Метод контрольного электрода состоит в следующем: в грунт устанавливается заземлитель, измеряется его сопротивление растеканию и по формуле (табл. прил. 1) определяется удельное электрическое сопротивление грунта:

$$r_{изм} = R_{изм} \frac{2\rho\ell}{\ln(4\ell/d)}.$$

Для большей точности измерения контрольный зонд погружают в землю в 3-4 местах исследуемой площадки.

Если в качестве контрольного электрода использовать заземлитель в виде стальной трубы диаметром 50 мм и длиной 2,5 м и погрузить его в грунт так, чтобы верхний конец был ниже уровня поверхности на 0,7 м, то удельное электрическое сопротивление можно определить из выражения

$$\rho = R_{ст.од} / 0,00302 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Для измерения методом четырех электродов (рис. 4) электроды устанавливаются на равных расстояниях a . Крайние электроды соединяют с токовыми зажимами измерителя заземления I_1 и I_2 , средние – с потенциальными E_1 и E_2 .

Удельное электрическое сопротивление грунта $r = \rho a R$, где R - показания прибора.

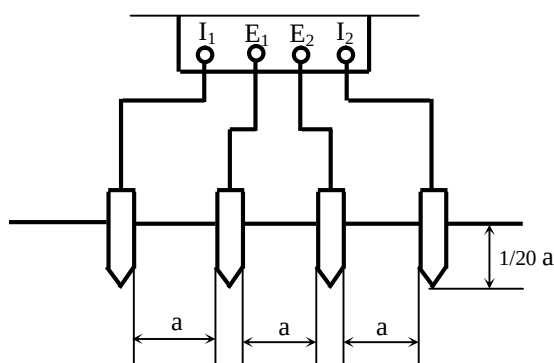


Рис. 7. Схема измерения удельного электрического сопротивления грунта, измеряемая заземлителем МС-08

5. Проведение измерений

Измерения проводятся на площадке расположения одиночного заземлителя лаборатории электробезопасности с помощью двух зондов и прибора типа МС-08. Зонды забивают в землю на глубину не менее 0,5 м по схеме треугольника, $l = 20$ м (см. рис. 7). Перед замером следует компенсировать сопротивление зонда. Скорость вращения рукоятки - до 150 об/мин.

Схема соединения при замере сопротивления заземления растеканию с помощью прибора МС-08 показана на рис. 8.

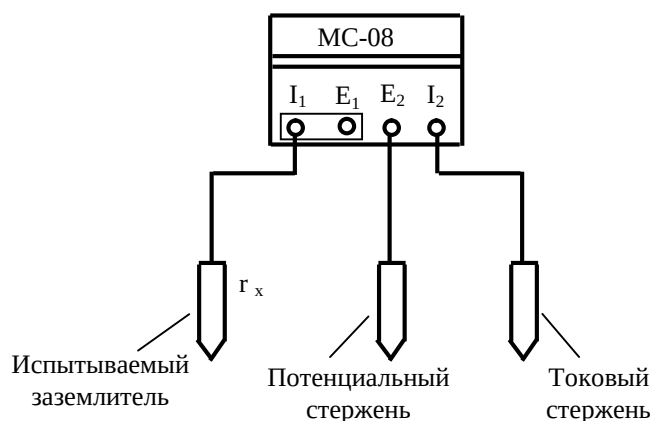


Рис. 8. Схема соединения при замере сопротивления заземления растеканию с помощью прибора МС-08

Результаты измерений получить при устойчивом положении стрелки прибора на шкале сопротивления.

Измерения удельного сопротивления грунта выполнить методом контрольного зонда и рассчитать по формуле из табл. П.1.

6. Обработка результатов измерений

Результаты измерений занести в протокол измерений сопротивления растеканию заземления и оформить протокол по форме (см. прил. П. 2 - 4).

Определение удельного сопротивления грунта выполнить в расчетном виде по ранее предложенной методике и представить в отчете.

По результатам измерений сделать выводы о соответствии сопротивления заземлителя требуемым нормам ПУЭ.

При защите работы ответить на контрольные вопросы.

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

1. В каких сетях эффективно защищенное заземление и почему?
2. В каких сетях применяется защитное заземление?

3. В каком случае эффективность заземления резко снижается?
4. Что произойдет, если при двойном глухом замыкании уменьшить сопротивление любого заземлителя?
5. Что называется заземляющим устройством и какие виды заземляющих устройств существуют?
6. За счет чего защитное заземление защищает человека?
7. Чем принципиально контурное заземление отличается от выносного?
8. Почему при контурном заземлении коэффициенты напряжения прикосновения α_1 и шага β_1 намного меньше единицы?
9. Почему ток, проходящий через человека, касающегося корпуса, меньше, чем при выносном заземлении?
10. Для чего при выполнении контурного заземления внутри контура прокладывают горизонтальные полосы?
11. Как нормируется заземляющее устройство в установках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью (6...35 кВ), если оно одновременно используется для установок напряжением до 1000 В?
12. Как нормируется заземляющее устройство, если оно используется только для установок выше 1000 В?
13. Как нормируется сопротивление заземляющего устройства в электроустановках напряжением выше 1000 В с глухозаземленной нейтралью (110 кВ и выше)?

**Инструктивно-методические указания
по проведению лабораторного занятия Лз-4 на тему
«ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ
В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ
КОЭФФИЦИЕНТА АБСОРБЦИИ»**

Тема: Исследование сопротивления изоляции в электроустановках и определение коэффициента абсорбции.

Цель: изучение методов и приборов измерения сопротивления изоляции электрооборудования; установление влияния влажности на ее сопротивление, выработка навыков использования приборов и методов измерений.

В результате проведения лабораторного занятия студенты должны:

знать:

1. Теоретическое обоснование и сущность существующих методов измерения сопротивления изоляции электроустановок и их элементов.
2. Особенности приборов и методики их применения при измерениях сопротивления изоляции.
3. Методику определения коэффициента абсорбции и его использования для оценки состояния изоляции.
4. Правила применения мегомметров (электронного и с ручным приводом) при измерениях сопротивления изоляции;

уметь:

1. Провести измерения сопротивления изоляции трансформаторов, электрических машин и других элементов электроустановок (ЭУ).
2. Оценить состояние изоляции по результатам измерений и определить коэффициент абсорбции.

Литература

1. Электробезопасность, теория и практика: учебник для вузов / П.А. Долин, В.Т. Ведмедев и др. – М.: МЭИ, 2012. – 280 с.
2. Чекулаев В.Е., Горожанкина Е.Н. Охрана труда и электробезопасность. – М., 2012. – 304 с.
3. Правила устройства электроустановок. – 7-е издание. – Омега-Л, 2016. – 272 с.
4. Техника высоких напряжений / В.Ф. Важов и др. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 208 с.

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ

Основные теоретические сведения

Наиболее простым способом испытания высоковольтной изоляции в процессе эксплуатации является измерение ее сопротивления и коэффициента абсорбции.

Сопротивление изоляции определяется как отношение постоянного напряжения, приложенного к изоляции, к току, протекающему через изоляцию:

$$R_{из} = U/I.$$

Снижение сопротивления изоляции указывает либо на ее увлажнение, либо на наличие сквозных дефектов. Обычно изоляция не однородна и состоит из нескольких слоев, отличающихся своими диэлектрическими характеристиками. Ток в двухслойном диэлектрике является суммой сквозного тока и тока абсорбции:

$$i(t) = \frac{U_0}{R_1 + R_2} + \frac{U_0(R_1C_1 - R_2C_2)^2 e^{-\frac{t}{\tau}}}{R_1R_2(C_1 + C_2)^2(R_1 + R_2)},$$

где C_1 и C_2 ; R_1 и R_2 – соответственно емкостные и активные сопротивления первого и второго слоя диэлектриков (у двухслойных диэлектриков).

Постоянная времени затухания тока абсорбции

$$\tau = \frac{1}{p_1} = \frac{R_1R_2(C_1 + C_2)}{R_1 + R_2},$$

из этого следует, что ток в изоляции спадает со временем, а сопротивление возрастает (рис. 1).

В связи с изменением сопротивления изоляции во времени принято измерять его через 60 с после приложения напряжения (R_{60}). Если считать, что к этому моменту $i_a \ll i_{ск}$, то $R_u = R_1 + R_2$. При увлажнении одного из слоев его сопротивление снижается и снижается общее сопротивление.

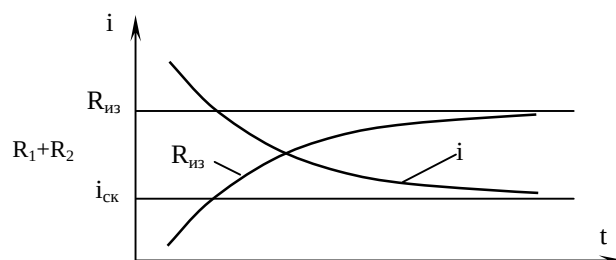


Рис. 9. Изменение во времени тока
в изоляции

В тоже время неопасное поверхностное загрязнение и увлажнение изоляции вызывает резкое снижение ее сопротивления, что может привести к ошибочному заключению о необходимости сушки изоляции. Так как сопротивление изоляции зависит не только от ее состояния, но и от геометрических размеров - толщины площади, то устанавливать единые нормы для сопротивления изоляции многих единиц оборудования нецелесообразно. Измеренное сопротивление изоляции сравнивают с данными заводских или предыдущих измерений для испытываемого объекта.

Измерение сопротивления изоляции - это контрольный метод обнаружения сквозных дефектов, поверхностного или глубокого объемного увлажнения.

Коэффициентом абсорбции называется отношение сопротивления изоляции, измеряемое через 15 и 60 с после приложения испытательного напряжения:

$$K_a = R_{60} / R_{15}.$$

Чем больше увлажнена изоляция, тем больше сквозной ток и тем быстрее падает ток абсорбции. Поэтому в интервале 15...60 с для увлажненной изоляции $i_a \ll i_{ск}$ и коэффициент K_a стремится к единице.

В неувлажненной изоляции сквозной ток мал, а ток абсорбции изменяется в течение длительного периода (десяtkи и сотни секунд). В неувлажненной изоляции при температуре 10...30 °С $K_{аб} = 1,3 - 2,0$, а для увлажненной обмотки коэффициент абсорбции близок к единице. Коэффициент абсорбции не зависит от геометрических размеров изоляции. Вместе с тем K_a зависит от поверхностного загрязнения и увлажнения изоляции, при котором наблюдается возрастание сквозного тока.

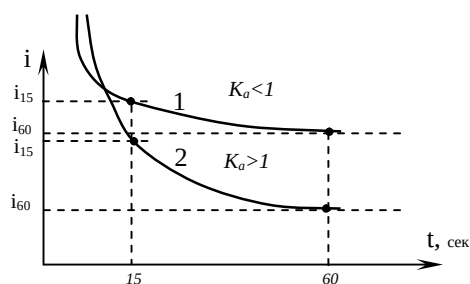


Рис. 10. Изменение тока в увлажненной (1) и сухой (2) изоляции

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С МЕТОДИКОЙ, ПРИБОРАМИ И СХЕМАМИ ИЗМЕРЕНИЯ

Для измерения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции используют электронный мегомметр типа Ф-4100 или ручные мегомметры типа МС-05, М-1101.

Объекты испытаний - изоляция трансформатора, электрической машины, кабели электрические (контрольные и силовые).

Измерение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции для трехфазных объектов производится пофазно:

- фаза А относительно фаз В и С и корпуса;
- фаза В относительно фаз А и С и корпуса;
- фаза С относительно фаз В и А и корпуса;
- фаза А,В,С относительно корпуса.

При этом фазы должны быть разделены между собой. Начало и конец каждой фазы должны быть замкнуты накоротко. Перед повторным измерением изоляция должна быть закорочена в течение 5 мин.

Для измерения сопротивления изоляции может использоваться электронный мегомметр типа Ф-4100 или мегомметр с ручным приводом.

Электронный мегомметр, питающийся от сети 220 В, снабжен блоком стабилизированного выпрямленного напряжения на 2,5 кВ, ламповым вольтметром или вольтметром на транзисторах и эталонным сопротивлением (рис. 11). Ток, протекающий через изоляцию и эталонное сопротивление, зависит от сопротивления изоляции; падение напряжения на эталонном сопротивлении также определяется сопротивлением изоляции.

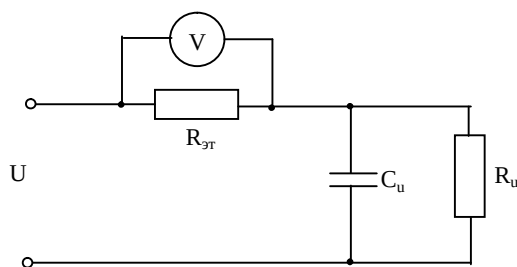


Рис. 11. Схема измерения сопротивления изоляции электронным мегомметром

Ламповый вольтметр, переградуированный в мегомы, измеряет падение напряжения на эталонном сопротивлении. Два реле времени сигнализируют моменты отсчета через 15 и 60 с после подачи напряжения.

Объекты испытаний - изоляция трансформатора, электрической машины и модели с сухой и увлажненной бумажно-масляной изоляцией, помещенные в термошкаф.

Исправность мегомметра проверяется следующим образом:

а - при замкнутых зажимах «земля» и «Л» ручкой «уст. ∞ » стрелка устанавливается на отметке « ∞ »;

б - при замкнутых зажимах «земля» и «Л» и нажатой кнопке «высокое напряжение» ручкой «уст. 0» стрелка устанавливается на «0».

Отсчет показаний производится в моменты соответственно через 15 и 60 с после подачи высокого напряжения (для Ф-4100 после нажатия кнопки «высокое напряжение»).

З А Д А Н И Е

1. Определить сопротивление изоляции и коэффициент абсорбции для изоляции трансформатора или электрической машины с качественной и увлажненной изоляцией. Результаты занести в таблицу.

2. Построить зависимости $R_{60}(t_p)$; $R_{15}(t_c)$ для сухой и увлажненной изоляции.

Т а б л и ц а 2

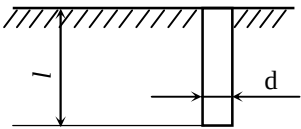
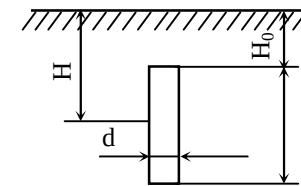
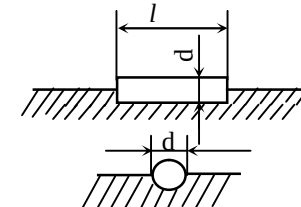
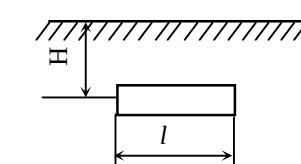
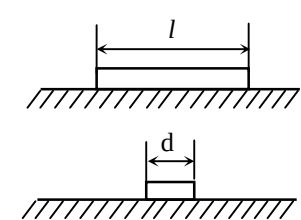
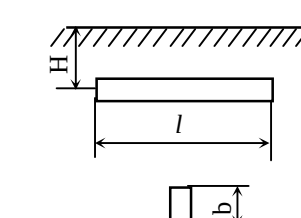
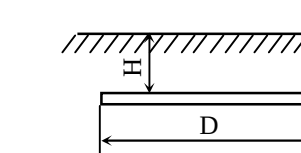
Объект испытаний и схем измерений	Что определить	Прибор	R_{60} , МОм	R_{15} , МОм	$K_a = \frac{R_{60}}{R_{15}}$	Состоян. изоляции
1. Эл. дв. 3 ^х фазный	- фаза А относительно фаз В и С и корпуса; - фаза В относительно фаз А и С и корпуса;					
2. Трансформатор силовой 3 ^х фазный	- фаза С относительно фаз В и А и корпуса; - фазы А,В,С относительно корпуса					
3. Кабель управления	Жилу, замкнутую на землю					
4. Кабель силовой с экраном	Жилу, замкнутую на экран					
5. Кабель силовой бронированный	Найти замыкание между жилами					
6. Кабель силовой	$R_{из}$ 1. Относительно земли. 2. Относительно земли с исключением поверхностных утечек. 3. Между фазами с исключением поверхностных утечек					
7. Кабель силовой	$R_{из}$ и K_a 1. Относительно экрана. 2. Между жилами					

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

1. От каких факторов зависит сопротивление изоляции?
2. Почему сопротивление изоляции измеряется через 60 с после приложения напряжения?
3. Почему коэффициент абсорбции зависит от влажности изоляции?
4. Какие изменения состояния изоляции могут быть определены по значению ее сопротивления?
5. Как работает электронный мегомметр и мегомметр с ручным приводом?

Приложение 1

Формулы для вычисления сопротивлений одиночных заземлителей растеканию тока

Тип заземлителя	Схема	Формула	Дополнительные указания
Трубчатый или стержневой у поверхности грунта		$R = \frac{r}{2p\ell} \ln \frac{4\ell}{d}$	$l \gg d$
Трубчатый или стержневой в грунте		$R = \frac{r}{2p\ell} \left(\ln \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + \ell}{5H - \ell} \right)$	$H_0 > 0,5 \text{ м}$
Протяженный круглого сечения – труба, кабель и др. – на поверхности грунта		$R = \frac{r}{p\ell} \ln \frac{2\ell}{d}$	-
Протяженный круглого сечения в грунте		$R = \frac{r}{2p\ell} \ln \frac{\ell^2}{dH}$	$\frac{\ell}{H} \geq 5$
Протяженный полосовой на поверхности грунта		$R = \frac{r}{p\ell} \ln \frac{4\ell}{d}$	$l \gg d$
Протяженный - полоса в грунте		$R = \frac{r}{2p\ell} \ln \frac{2\ell^2}{bH}$	$\frac{\ell}{H} \geq 5$
Круглая пластина в грунте		$R = \frac{\rho}{4\pi} \times \left(1 + \frac{2}{\pi} \times \arcsin \frac{D}{\sqrt{16H^2 + D^2}} \right)$	$D < 2H$

Приложение 2

(объект)

(присоединение)
“ _____ ” _____ 20 г.

ПРОТОКОЛ

измерения сопротивления растеканию заземлителей и проверки металлической связи электрооборудования с заземляющим контуром

1. Объект измерения _____
2. Характеристика грунта, погода _____
3. Схема измерительных электродов _____
 - 3.1. Сопротивление растеканию заземлителей, по приведенной в п. 3 схеме составляет _____ Ом.
 - 3.2. Металлическая связь оборудования с контуром заземления проверена.
4. Дополнительные испытания и проверки:

Заключение:

Испытания производили

(подпись) (фамилия)

Руководитель работ

(подпись) (фамилия)