

**Министерство образования и науки**

**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева**

**Лабораторный практикум по электробезопасности и пожарной  
безопасности**

*Учебное пособие для студентов специальности 280102  
«Безопасность технологических процессов и производств»*

**Нижний Новгород  
2010**

**УДК 628.382.3.621.31(0755)**  
**ББК**

Рецензент  
Профессор, доктор химических наук А.Ф. Борисов

Лабораторный практикум по электробезопасности и пожарной безопасности /И.В. Гейко, А.Б. Елькин, Н.С. Конюхова, Т.И. Курагина, О.В. Маслеева, Л.И. Молвина, В.И. Миндрин, Г.В. Пачурин. Н.Новгород: НГТУ, 2010. - с.

Представлены методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Производственная безопасность».

Рассмотрены теоретические основы электробезопасности, даны описания лабораторных стендов, порядка выполнения работы и результатов исследований. Приведены вопросы для самостоятельной проверки знаний.

© Нижегородский государственный  
технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2010

# Лабораторная работа №1

## Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В

### 1. Цель работы

1.1. Оценить опасность прямого прикосновения человека к фазным проводам электрических сетей напряжением до 1000 В.

1.2. Определить влияние активного сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли на опасность поражения человека электрическим током при нормальном и аварийном режимах работы сети с изолированной и глухозаземленной нейтралью.

1.3. Оценить опасность при двухфазном прикосновении человека к электрической сети.

### 2. Теоретическая часть

#### 2.1. Действие электрического тока на организм человека

Опасность электрического тока усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение электрического тока дистанционно. Опасность обнаруживается слишком поздно, когда человек уже поражен.

Условием поражения человека электрическим током является его прикосновение к двум точкам электрической цепи с разными потенциалами.

**Электротравма** – травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

**Электрический удар** – электротравма, проявляющаяся в возбуждении живых тканей организма протекающим через него электрическим током. При этом наступают судороги мышц или других тканей, шок, паралич дыхания, нарушение деятельности сердца и кровообращения.

Опасность поражения человека определяется величиной тока, проходящего через тело человека. В зависимости от реакции организма на ток можно выделить следующие его значения.

**Пороговый осязаемый ток** – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через организм осязаемые раздражения. Для тока промышленной частоты ( $f = 50$  Гц) значение порогового осязаемого тока составляет 0,5 – 1,5 мА.

**Пороговый неотпускающий ток** – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник. Человек при этом не может самостоятельно освободиться от проводника. Величина этого тока составляет 10 – 15 мА при  $f = 50$  Гц.

**Пороговый фибрилляционный ток** – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через органы человека

фибриляцию сердца. Кровообращение останавливается. Сердце человека самостоятельно выйти из этого состояния не может, через несколько минут наступает смерть. Величина этого тока составляет 50 – 8 мА при  $f = 50$  Гц.

Переменный ток 100 мА считается **смертельным**.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока зависит от различных факторов:

- От сопротивления тела человека.

Электрическое сопротивление человека складывается из сопротивления кожи и внутренних органов. Кожа обладает большим сопротивлением и определяет общее сопротивление человека. При сухой и неповрежденной коже сопротивление тела человека составляет 2 000 - 2 000 000 Ом. При увлажненной, загрязненной и поврежденной коже сопротивление тела сокращается до 300-500 Ом, т.е. до сопротивления внутренних органов. В расчетах по электробезопасности сопротивление человека принимается равным 1000 Ом.

- От величины напряжения, действующего на человека.

С повышением напряжения, приложенного к телу человека, возможен пробой рогового слоя кожи (при  $U > 50$  В), что приводит к уменьшению сопротивления человека.

- От рода и частоты тока.

Постоянный ток безопаснее, чем переменный ток промышленной частоты примерно в 4-5 раз. Это справедливо до напряжения 500 В, выше 500 В постоянный ток становится опаснее. Максимальную опасность переменный ток оказывает при частоте 60 Гц. С последующим увеличением частоты тока до 1000 Гц и более опасность поражения человека резко увеличивается.

- От продолжительности воздействия электрического тока.

При увеличении продолжительности воздействия электрического тока сопротивление тела человека падает вследствие усиления кровообращения участков кожи под электродами и потовыделения. При этом ток может возрасти до значения, способного вызвать остановку сердца. Допустимое время воздействия при напряжении 220 В составляет 0,2 с.

- От условий внешней среды.

Параметры микроклимата в производственных помещениях влияют на сопротивление тела человека. Увеличение температуры, влажности, снижение подвижности воздуха приводят к росту опасности поражения, так как влаговыделение снижает сопротивление кожных покровов.

- От индивидуальных свойств человека.

Физически здоровые люди легче переносят электрические удары, чем больные и слабые. Повышенной восприимчивостью к воздействию электрического тока обладают лица, страдающие сердечно-сосудистыми, кожными, нервными и легочными заболеваниями.

## 2.2. Анализ опасности поражения током в электрических сетях

Степень опасности прикосновения человека к открытым неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением, зависит от вида прикосновения, вида электрической сети, режима работы сети (нормальный или аварийный).

Прикосновение может быть:

- однофазным, когда человек касается одной фазы электросети;
- двухфазным, когда человек касается двух фаз электросети.

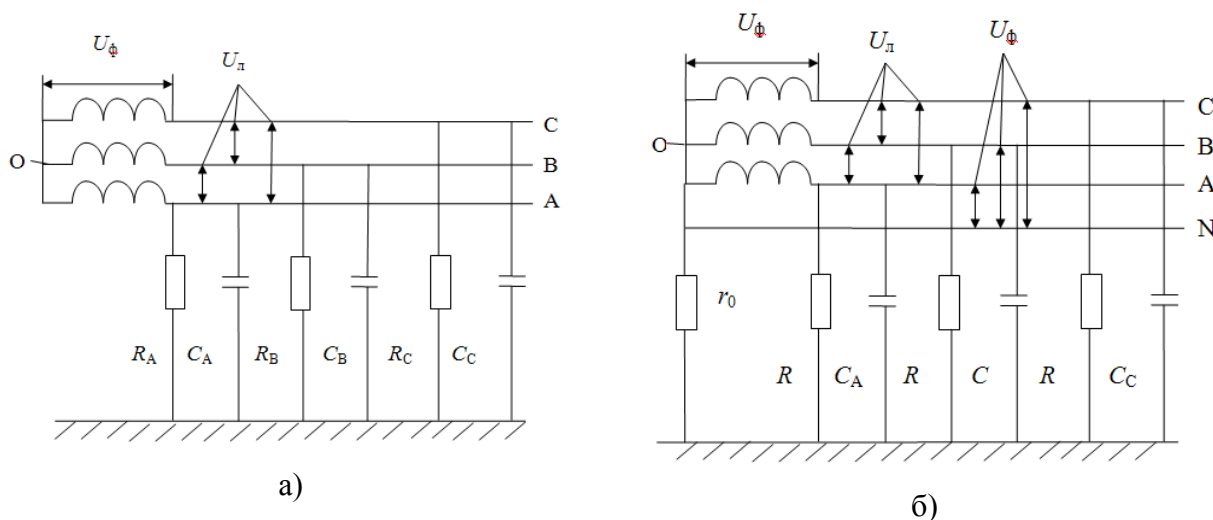
Согласно ПУЭ (Правил устройства электроустановок) при напряжении до 1000 В применяют следующие виды электрических трехфазных сетей:

- трехпроводная с изолированной нейтралью (рис. 1а);
- четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью (рис. 1б).

Изолированной называется нейтраль генератора или трансформатора, не присоединенная к заземляющему устройству.

Глухозаземленной называется нейтраль генератора или трансформатора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление  $r_0$ .

При нормальном режиме работа трехфазной сети с любым режимом нейтрали потенциал нулевой точки равен нулю. Между нулевой точкой (нейтралью – О) и любым фазным проводом (А, В, С) действует фазное напряжение  $U_{\phi}$ . Так как нулевой проводник N в системе с глухозаземленной нейтралью непосредственно соединен с нейтралью, то между ним и любой фазой также действует фазное напряжение. Между фазными проводами действует линейное напряжение  $U_{л}$ .



**Рис. 1. Виды электрических трехфазных сетей:**

а - трех проводная с изолированной нейтралью; б - четырех проводная с глухозаземленной нейтралью; А, В, С – фазные проводники; N - нулевой рабочий проводник; О- нейтраль;  $U_{\phi}$  - фазное напряжение;  $U_{л}$  - линейное напряжение;  $R_A, R_B, R_C$  - активное сопротивление изоляции фазных проводников (согласно ПУЭ не менее 0,5 МОм);  $C_A, C_B, C_C$  - емкости фаз относительно земли;  $r_0$  - сопротивление заземления нейтрали (согласно ПУЭ 4 Ом)

Наибольшее распространение получили трехфазные сети, у которых линейное напряжение  $U_{л} = 380$  В, фазное  $U_{ф} = 220$  В, а между линейным и фазным напряжениями существует зависимость  $U_{л} = U_{ф} \sqrt{3}$ .

Идеальной изоляции, т.е. такой, у которой сопротивление относительно земли бесконечно велико, в практике не существует. Поэтому на каждом участке длины провода изоляция имеет конечное активное сопротивление ( $R_A, R_B, R_C$ ) Кроме того, каждый участок провода имеет емкость относительно земли ( $C_A, C_B, C_C$ ).

Для сравнительной оценки опасности сетей ниже рассмотрены следующие сети с напряжением до 1000 В: трехфазные четырехпроводные с изолированной нейтралью и трехфазные четырехпроводные с глухозаземленной нейтралью при нормальном и аварийном режимах работы.

### 2.2.1. Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

В нормальном режиме работы при однофазном прикосновении (рис. 2а) сила тока, проходящего через человека для случая симметричного сопротивления изоляция фаз, т.е.  $R_A = R_B = R_C = R$  и  $C_A = C_B = C_C = C$ , определится выражением в комплексной форме

$$I_h = \frac{U_{ф}}{R_h + Z/3}, \text{ А} \quad (1)$$

где  $R_h$  - сопротивление тела человека, Ом;

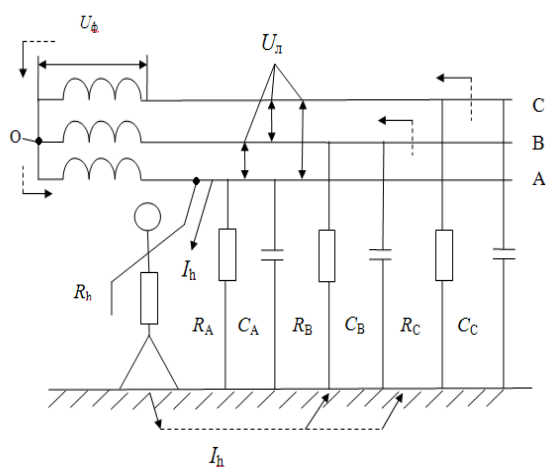
$Z$  - полное сопротивление одной фазы относительно земли, Ом.

$$Z = \frac{R_{из}}{(1 + j\omega CR_{из})}. \quad (2)$$

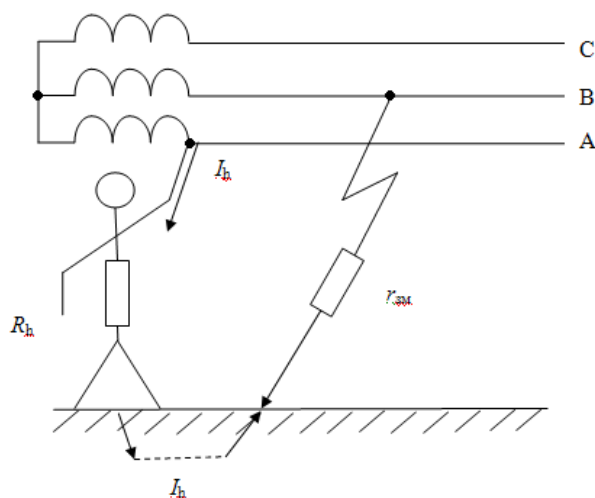
Здесь  $R_{из}$  - активное сопротивление изоляции, Ом;

$\omega$  - угловая частота;

$C$  - емкость провода относительно земли, Ф.



а)



б)

**Рис. 2. Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью:**  
а - нормальный режим; б - аварийный режим

Для воздушных сетей малой протяженности емкость проводов относительно земли незначительна ( $C \approx 0$ ), тогда сила тока, протекающего через человека, выразится зависимостью

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{из}/3}, \text{ А} \quad (3)$$

При  $U_\phi = 220 \text{ В}$ ,  $R_h = 1000 \text{ Ом}$ ,  $R_{из} = 500\,000 \text{ Ом}$  сила тока через человека  $I_h = 1,3 \text{ мА}$ , т.е. относительно не опасна (ощутимый ток).

При использовании кабельных линий емкости проводов относительно земли и сопротивления изоляции имеют очень большое значение ( $C \neq 0$ ;  $R_{из} \rightarrow \infty$ ), тогда сила тока, протекающего через человека,

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + (X_c/3)^2}}, \text{ А} \quad (4)$$

где  $X_c = 1/\omega C$  - емкостное сопротивление изоляции проводов, Ом.

Из рассмотренных выражений следует, что сила тока, проходящего через человека, зависит от активного сопротивления изоляции (характерно для воздушных сетей) и емкостного сопротивления изоляции проводов (характерно для кабельных сетей).

В аварийном режиме, когда одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление  $r_{зм}$ , человек, прикасаясь к другой фазе, оказывается включенным между двух фаз (рис. 2б).

Величина тока, проходящего через человека,

$$I_h = \frac{U_\phi \sqrt{3}}{R_h + r_{зм}}, \text{ А} \quad (5)$$

При  $U_\phi = 220 \text{ В}$ ,  $R_h = 1000 \text{ Ом}$ ,  $r_{зм} = 0$  величина тока через человека  $I_h = 380 \text{ мА}$ , т.е. смертельна.

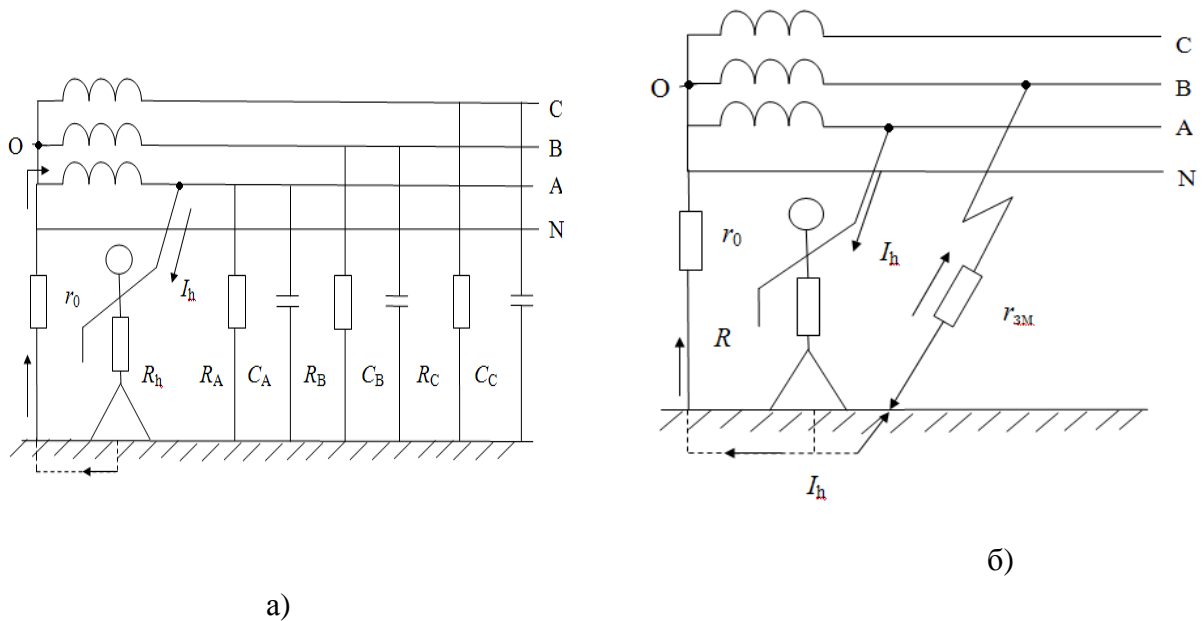
В аварийном режиме сила тока, проходящего через человека, резко возрастает, т.к. защитная роль сопротивлений изоляции сводится к нулю (т.к.  $r_{зм} \ll R_{из}$ ). Следовательно, в аварийном режиме значительно увеличивается опасность поражения электрическим током.

### 2.2.2. Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

В нормальном режиме при однофазном прикосновении (рис. 3а) напряжение прикосновения практически равно фазному ( $U_{пр} \approx U_\phi$ ), поскольку сопротивление заземления нейтрали  $r_0 \ll R_h$ . Сила тока, проходящего через человека, определится выражением

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0}, \text{ А} \quad (6)$$

то есть сила тока через человека зависит только от сопротивления человека и не зависит от качества изоляции. При  $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ ,  $R_h = 1000 \text{ Ом}$ ,  $r_0 = 4 \text{ Ом}$  сила тока через человека  $I_h \approx 220 \text{ мА}$ , т.е. смертельна.



**Рис. 3. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью:**  
 а - нормальный режим; б - аварийный режим

В аварийном режиме одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление  $r_{3м}$  (рис. 3б).

Если сопротивление замыкания фазы на землю  $r_{3м} = 0$ , то напряжение прикосновения  $U_{пр} = \sqrt{3} U_{\phi} = U_{л}$ . Если сопротивление заземления нейтрали  $r_0 = 0$ , то аварийная фаза окажется соединенной с нейтралью и напряжение прикосновения  $U_{пр} = U_{\phi}$ . Оба случая являются смертельными для человека. В действительности  $r_{3м} \neq 0$  и  $r_0 \neq 0$ , кроме того  $r_{3м} \gg r_0$ , поэтому напряжение прикосновения, под которым окажется человек определяется зависимостью  $\sqrt{3} U_{\phi} \gg U_{пр} > U_{\phi}$ .

Если величина  $r_{3м} \approx r_0$ , то сила тока, проходящего через человека,

$$I_h = \frac{U_{\phi} (r_{3м} + r_0 \sqrt{3})}{r_{3м} r_0 + R_h (Z_{3м} + r_0)} = \frac{U_{\phi} \cdot 1,35}{R_h}.$$

Возрастание напряжения прикосновения и силы тока через человека повышает опасность сети с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме по сравнению с нормальным режимом работы.



### 2.2.3. Двухфазное прикосновение человека

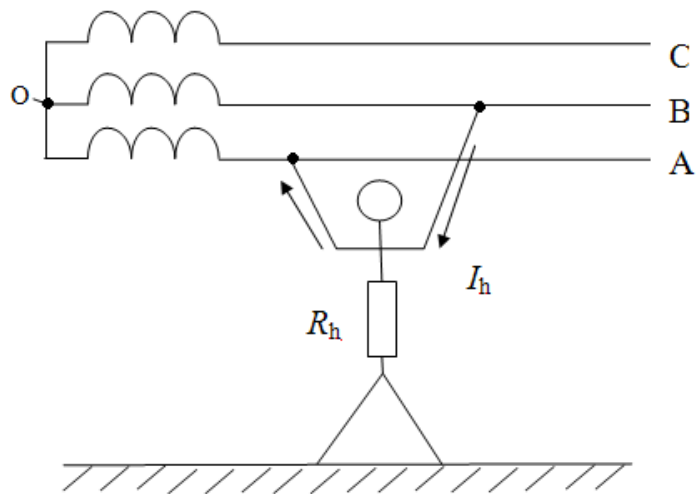


Рис. 4. Двухфазное прикосновение человека

Сила тока через человека при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции, а определяется только линейным напряжением и сопротивлением человека:

$$I_h = \frac{U_L}{R_h}, \text{ A} \quad (7)$$

При  $U_L = 380 \text{ В}$ ,  $R_h = 1000 \text{ Ом}$  сила тока через человека  $I_h = 380 \text{ мА}$ , т.е. смертельна.

### 2.3. Краткие выводы

Сравнительная оценка двух видов фазных сетей показывает следующее:

1. При однофазном прикосновении в период нормальной работы сети ток через человека определяется:

- в сети с изолированной нейтралью – сопротивлением изоляции и емкостью фаз относительно земли;

- в сети с глухозаземленной нейтралью – только сопротивлением человека.

2. Однофазное прикосновение к сети с изолированной нейтралью с малой емкостью и высоким сопротивлением изоляции безопаснее, чем прикосновение к сети с глухозаземленной нейтралью.

3. Однофазное прикосновение в период аварийной работы сети в сети с изолированной нейтралью опаснее, чем в сети с глухозаземленной нейтралью. Защитная роль изоляции сводится к нулю и резко возрастает ток через человека.

4. Опасность поражения при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции. Этот случай является наиболее опасным.

### 3. Описание лабораторной установки

На лицевой панели стенда (рис. 4) изображена мнемосхема системы «трехфазная электрическая сеть - человек», которая содержит изображение источника питания (трехфазная сеть), фазных и защитного проводников, электропотребителя, УЗО и цепи, имитирующие прикосновение человека к фазным проводам.

Включение – выключение стенда производится тумблером «ВКЛ-ВЫКЛ», расположенным слева в нижней части передней панели стенда.

Реально существующие распределительные сопротивления изоляции и емкости проводов (фазных и нулевого) относительно земли изображены на мнемосхеме в виде сосредоточенных элементов – резисторов и конденсаторов.

В изображении человека помещен светодиодный индикатор, сигнализирующий о превышении предельно допустимого длительного тока через человека.

На поле мнемосхемы, рядом с изображениями элементов моделируемой сети, размещены коммутационные элементы и регуляторы с соответствующими буквенно-цифровыми обозначениями, выполняющими следующие функции:

- изменение значений сопротивления изоляции проводов («RAE», «RBE», «RCE», «RPEN»): «1; 2,5; 10; 25; 100; ∞ кОм» и емкости проводов («CAE», «CBE», «CCE», «CPEN»): «0; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5 мкФ»,

- имитацию прикосновения человека к токоведущим проводам сети путем соединения гибким проводом со штекерами клеммы «Xпр» с одной из клемм «XA», «XB», «XC» или «XAK».

- имитацию замыкания одного из фазных проводов на землю («Skз»), при этом положение «0» соответствует нормальному режиму работы стенда,

- изменение значений сопротивления тела человека («Rн»): «1-100кОм»,

- изменение значений сопротивления замыкания фазного провода на землю («Rзм»): «10;100;1000 Ом»,

- переключение режима нейтрали («глухозаземленная - изолированная») с одновременным подключением (отключением) PEN-провода («SN»).

Сопротивление заземления нейтрали («Ro») установлено постоянное (4 Ом).

Измерение токов (Амперметр) и напряжений (Вольтметр) в трехфазной сети осуществляется цифровыми индикаторами в нижней части стенда (ток в цепи тела человека «A1», сопротивление тела человека «Rн») и «UA-UB-UC» (напряжения фазных проводов относительно земли).

Индикаторы отображают «измеренные» значения параметров по нажатию кнопки «ИЗМЕРЕНИЕ», расположенной справа в нижней части передней панели; показания сбрасываются нажатием кнопки «СБРОС», расположенной там же.

Таблица 1

### Основные величины элементов схемы

Активные сопротивления изоляции фаз, кОм $R_{AE}, R_{BE}, R_{CE}, R_{PEN},$ кОм	Емкости фаз относительно земли $C_{AE}, C_{BE}, C_{CE}, C_{PEN},$ мкФ	Сопротивление тела человека $R_h,$ кОм	Сопротивление замыкания на землю $R_{ЗМ},$ Ом
1	0	1 - 100	10
2,5	0,1		100
10	0,25		1000
25	0,5		
100	1,0		
$\infty$	2,5		

## 4. Техника безопасности

4.1. При выполнении данной лабораторной работы необходимо выполнять требования по технике безопасности, общие для лаборатории.

4.2. Внешним осмотром убедиться в исправности состояния испытательного стенда.

4.3. К стенду подведено напряжение 380/220 В, поэтому студенты должны внимательно изучить теоретическую часть лабораторной работы и включать стенд только с разрешения преподавателя или лаборанта.

4.4. При наличии неисправности испытательный стенд отключить от сети и поставить в известность преподавателя.

## 5. Задание к работе

Таблица 2

№ П/П	Устанавливаемые величины	Варианты		
		1	2	3
1	$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE},$ кОм	2,5	1	10
	$C_A = C_B = C_C,$ мкФ	0,1	0,25	0,5
	$R_{PEN}$	2,5	5	10
	$C_{PEN}$	0,25	0,1	0,5
	Человек касается фазы	A	B	C
2	$R_h,$ кОм	1	3	5
	$R_{PEN}$	2,5	5	10
	$C_{PEN}$	0,25	0,1	0,5
	Человек касается фазы	A	B	C
3	$R_h,$ кОм	1	3	5

	$R_{PEN}$	2,5	5	10
	$C_{PEN}$	0,25	0,1	0,5
	Человек касается фазы	А	В	С
4	$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE}$ , кОм	2,5	1	10
	$C_{AE} = C_{BE} = C_{CE}$ , мкФ	0,1	0,25	0,5
	$R_{PEN}$	2,5	5	10
	$C_{PEN}$	0,25	0,1	0,5
	$R_h$ , кОм	1	2,5	5
	человек касается фазы	А	В	С
	аварийный режим фазы	В	С	А

## 6. Порядок выполнения работы

6.1. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от сопротивления человека

### 6.1.1. Сеть с изолированной нейтралью

1) Изолировать нейтраль - перевести переключатель  $S_N$  в нижнее положение.

2) Установить значения активных сопротивлений изоляции  $R_{AE}$ ,  $R_{BE}$ ,  $R_{CE}$  и емкостей  $C_{AE}$ ,  $C_{BE}$ ,  $C_{CE}$  фазных проводов относительно земли в соответствии с заданием.

3) Имитировать подключение человека к заданной фазе, соединив с помощью гибкого провода со штекерами клемму «Хпр» с одной из клемм «ХА», «ХВ», «ХС»

4) Включить стенд.

5) Ручкой регулятора  $R_H$  установить значения сопротивления цепи тела человека  $R_h = 1$  кОм. Измерить эту величину по омметру, нажав кнопку «измерение». Сбросить показания нажатием кнопки «сброс». Если величина отличается от 1 кОм, то плавно вращая ручку регулятора добиться требуемой величины, каждый раз нажимая кнопки «измерение» и «сброс».

6) Произвести измерение тока  $I_h$  в цепи тела человека с помощью амперметра А1, нажав кнопку «измерение». Записать показания в таблицу 3. Сбросить показания нажатием кнопки «сброс».

7) Ручкой регулятора  $R_H$  установить значения сопротивления цепи тела человека  $R_h = 2,5$  кОм. Измерить эту величину по омметру, нажав кнопку «измерение». Сбросить показания нажатием кнопки «сброс». Если величина отличается от 2,5 кОм, то плавно вращая ручку регулятора добиться требуемой величины, каждый раз нажимая кнопки «измерение» и «сброс». Произвести измерение тока  $I_h$  в цепи тела человека с помощью амперметра А1.

8) Повторить измерения тока в цепи тела человека при значениях  $R_h = 5$  кОм,  $R_h = 10$  кОм,  $R_h = 20$  кОм

### 6.1.2. Сеть с заземленной нейтралью

1) Заземлить нейтраль - перевести переключатель  $S_N$  в верхнее положение.

2) Установить значения сопротивления цепи тела человека  $R_h = 1$  кОм переключателем  $R_H$ .

3) Произвести измерение тока  $I_h$  в цепи тела человека с помощью амперметра А1, нажав кнопку «измерение». Записать показания в табл. 3. Сбросить показания нажатием кнопки «сброс».

4) Повторить измерения тока в цепи тела человека при значениях  $R_h = 2,5$  кОм,  $R_h = 5$  кОм,  $R_h = 10$  кОм,  $R_h = 20$  кОм.

6.2. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от активного сопротивления изоляции фазных проводов

#### 6.2.1. Сеть с изолированной нейтралью

1) Изолировать нейтраль - перевести переключатель  $S_N$  в нижнее положение.

2) Установить значения сопротивления цепи тела человека  $R_h$  (в соответствии с заданием) переключателем  $R_H$ .

3) Установить значения емкостей проводов  $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 0$ .

4) Установить значения активных сопротивлений фазных проводов относительно земли  $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = 1$  кОм. Произвести измерения тока  $I_h$  в цепи тела человека с помощью амперметра А1. Показания записать в табл. 3.

5) Симметрично увеличивая сопротивление изоляции с помощью переключателей  $R_{AE}, R_{BE}, R_{CE}$ , произвести измерения тока  $I_h$  в цепи тела человека с помощью амперметра А1.

#### 6.2.2. Сеть с заземленной нейтралью

1) Заземлить нейтраль - перевести переключатель  $S_N$  в верхнее положение.

2) Произвести измерения тока  $I_h$  в цепи тела человека с помощью амперметра А1, устанавливая поочередно значения активных сопротивлений фазных проводов относительно земли  $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE}$ . Показания записать в табл. 3.

6.3. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от емкости фазных проводов относительно земли

#### 6.3.1. Сеть с изолированной нейтралью

1) Изолировать нейтраль - перевести переключатель  $S_N$  в нижнее положение.

2) Установить значения активного сопротивления фазных проводов относительно земли  $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = \infty$ .

3) Установить значения емкостей проводов относительно земли  $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 0,1$ . Произвести измерения тока  $I_h$  в цепи тела человека с помощью амперметра А1.

4) Симметрично увеличивая значения емкости фазных проводов относительно земли  $C_{AE}$ ,  $C_{BE}$ ,  $C_{CE}$ , произвести измерения тока  $I_h$  в цепи тела человека с помощью амперметра А1.

#### 6.3.2. Сеть с заземленной нейтралью

1) Заземлить нейтраль - перевести переключатель  $S_N$  в верхнее положение.

2) Произвести измерения тока  $I_h$  в цепи тела человека с помощью амперметра А1, устанавливая поочередно значения емкости фазных проводов относительно земли  $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE}$ .

6.4. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении человека к фазному проводу трехфазной сети при аварийном режиме работы сети (замыкание одного из фазных проводов на землю)

#### 6.4.1. Сеть с изолированной нейтралью

1) Изолировать нейтраль - перевести переключатель  $S_N$  в нижнее положение.

2) Установить значения активных сопротивлений изоляции  $R_{AE}$ ,  $R_{BE}$ ,  $R_{CE}$  и емкостей  $C_{AE}$ ,  $C_{BE}$ ,  $C_{CE}$  фазных проводов относительно земли в соответствии с заданием.

4) Установить заданные значения сопротивления цепи тела человека  $R_h$

6) Произвести измерение тока  $I_h$  в цепи тела человека с помощью амперметра.

7) Имитировать аварийный режим работы сети, переведя переключатель  $S_{K3}$  в заданное положение (замкнув заданную фазу на землю).

8) Установить заданное значение  $R_{зм}$ .

9) Произвести измерения тока в цепи тела человека  $I_h$  с помощью амперметра А1.

#### 6.4.2. Сеть с заземленной нейтралью

1) Заземлить нейтраль - перевести переключатель  $S_N$  в верхнее положение.

7) Имитировать нормальный режим работы сети, переведя переключатель  $S_{K3}$  в «0» положение.

6) Произвести измерение тока  $I_h$  в цепи тела человека с помощью амперметра.

7) Имитировать аварийный режим работы сети, переведя переключатель  $S_{K3}$  в заданное положение (замкнув заданную фазу на землю).

9) Произвести измерения тока в цепи тела человека  $I_h$  с помощью амперметра А1.

Выключить стенд.

## 7. Указания к составлению отчета

Отчет должен включать в себя:

1. цель работы;
2. полученные результаты в виде таблицы;
3. графики зависимости величины тока через человека от

- сопротивления человека;
  - активного сопротивления изоляции;
  - емкости фаз;
4. выводы об опасности поражения электрическим током в трехфазных сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью на основании анализа полученных результатов (рис. 2а) ;
  5. схемы сетей с изолированной и глухозаземленной нейтралью (рис. 3а);
  6. меры защиты и оказание первой помощи при двухфазном прикосновении человека в электрической сети.

**Таблица 3**

№	Параметр, влияющий на ток через человека	Ток через человека, мА, при режиме нейтрали		
		изолированная	заземленная	
1	Сопротивление человека:			
	$R_h = 1 \text{ кОм}$			
	$R_h = 2,5 \text{ кОм}$			
	$R_h = 5 \text{ кОм}$			
	$R_h = 10 \text{ кОм}$			
	$R_h = 20 \text{ кОм}$			
2	Активное сопротивление изоляции:			
	$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = 1 \text{ кОм}$			
	$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = 2,5 \text{ кОм}$			
	$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = 10 \text{ кОм}$			
	$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = 25 \text{ кОм}$			
	$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = 100 \text{ кОм}$			
3	Ёмкость фаз:			
	$C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 0,1 \text{ мкФ}$			
	$C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 0,25 \text{ мкФ}$			
	$C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 0,5 \text{ мкФ}$			
	$C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 1,0 \text{ мкФ}$			
	$C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 2,5 \text{ мкФ}$			
4	Режим работы сети:			
	нормальный			
	аварийный:	$R_{3M} = 10 \text{ Ом}$		
		$R_{3M} = 100 \text{ Ом}$		
$R_{3M} = 1000 \text{ Ом}$				

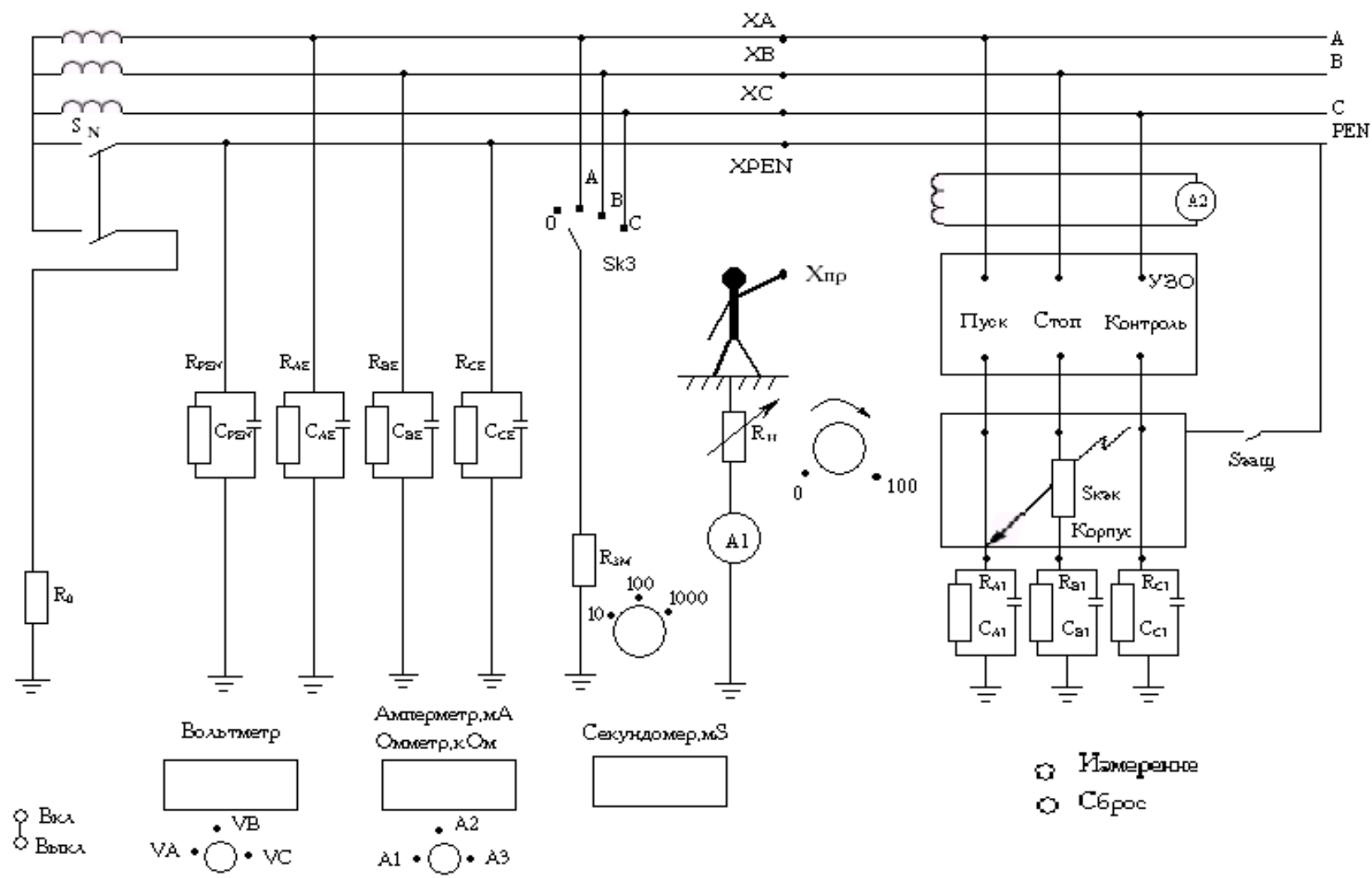


Рис. 5. Схема испытательного стенда



# Лабораторная работа №1а

## Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В

### 1. Цель работы

1.1. Оценить опасность прямого прикосновения человека к фазным проводам электрических сетей напряжением до 1000 В.

1.2. Определить влияние активного сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли на опасность поражения человека электрическим током при нормальном и аварийном режимах работы сети с изолированной и глухозаземленной нейтралью.

1.3. Оценить опасность при двухфазном прикосновении человека к электрической сети.

### 2. Теоретическая часть

#### 2.1. Действие электрического тока на организм человека

Опасность электрического тока усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение электрического тока дистанционно. Опасность обнаруживается слишком поздно, когда человек уже поражен.

Условием поражения человека электрическим током является его прикосновение к двум точкам электрической цепи с разными потенциалами.

**Электротравма** – травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

**Электрический удар** – электротравма, проявляющаяся в возбуждении живых тканей организма протекающим через него электрическим током. При этом наступают судороги мышц или других тканей, шок, паралич дыхания, нарушение деятельности сердца и кровообращения.

Опасность поражения человека определяется величиной тока, проходящего через тело человека. В зависимости от реакции организма на ток можно выделить следующие его значения.

**Пороговый осязаемый ток** – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через организм осязаемые раздражения. Для тока промышленной частоты ( $f = 50$  Гц) значение порогового осязаемого тока составляет 0,5 – 1,5 мА.

**Пороговый неотпускающий ток** – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник. Человек при этом не может самостоятельно освободиться от проводника. Величина этого тока составляет 10 – 15 мА при  $f = 50$  Гц.

**Пороговый фибрилляционный ток** – наименьшее значение

электрического тока, вызывающего при прохождении через органы человека фибрилляцию сердца. Кровообращение останавливается. Сердце человека самостоятельно выйти из этого состояния не может, через несколько минут наступает смерть. Величина этого тока составляет 50 – 8 мА при  $f = 50$  Гц.

Переменный ток 100 мА считается **смертельным**.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока зависит от различных факторов:

- От сопротивления тела человека.

Электрическое сопротивление человека складывается из сопротивления кожи и внутренних органов. Кожа обладает большим сопротивлением и определяет общее сопротивление человека. При сухой и неповрежденной коже сопротивление тела человека составляет 2 000 - 2 000 000 Ом. При увлажненной, загрязненной и поврежденной коже сопротивление тела сокращается до 300-500 Ом, т.е. до сопротивления внутренних органов. В расчетах по электробезопасности сопротивление человека принимается равным 1000 Ом.

- От величины напряжения, действующего на человека.

С повышением напряжения, приложенного к телу человека, возможен пробой рогового слоя кожи ( при  $U > 50$  В), что приводит к уменьшению сопротивления человека.

- От рода и частоты тока.

Постоянный ток безопаснее, чем переменный ток промышленной частоты примерно в 4-5 раз. Это справедливо до напряжения 500 В, свыше 500 В постоянный ток становится опаснее. Максимальную опасность переменный ток оказывает при частоте 60 Гц. С последующим увеличением частоты тока до 1000 Гц и более опасность поражения человека резко увеличивается.

- От продолжительности воздействия электрического тока.

При увеличении продолжительности воздействия электрического тока сопротивление тела человека падает вследствие усиления кровообращения участков кожи под электродами и потовыделения. При этом ток может возрасти до значения, способного вызвать остановку сердца. Допустимое время воздействия при напряжении 220 В составляет 0,2 с.

- От условий внешней среды.

Параметры микроклимата в производственных помещениях влияют на сопротивление тела человека. Увеличение температуры, влажности, снижение подвижности воздуха приводят к росту опасности поражения, так как влаговыделение снижает сопротивление кожных покровов.

- От индивидуальных свойств человека.

Физически здоровые люди легче переносят электрические удары, чем больные и слабые. Повышенной восприимчивостью к воздействию электрического тока обладают лица, страдающие сердечно-сосудистыми, кожными, нервными и легочными заболеваниями.

## 2.2. Анализ опасности поражения током в электрических сетях

Степень опасности прикосновения человека к открытым незаземленным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением, зависит от вида прикосновения, вида электрической сети, режима работы сети (нормальный или аварийный).

Прикосновение может быть:

- однофазным, когда человек касается одной фазы электросети;
- двухфазным, когда человек касается двух фаз электросети.

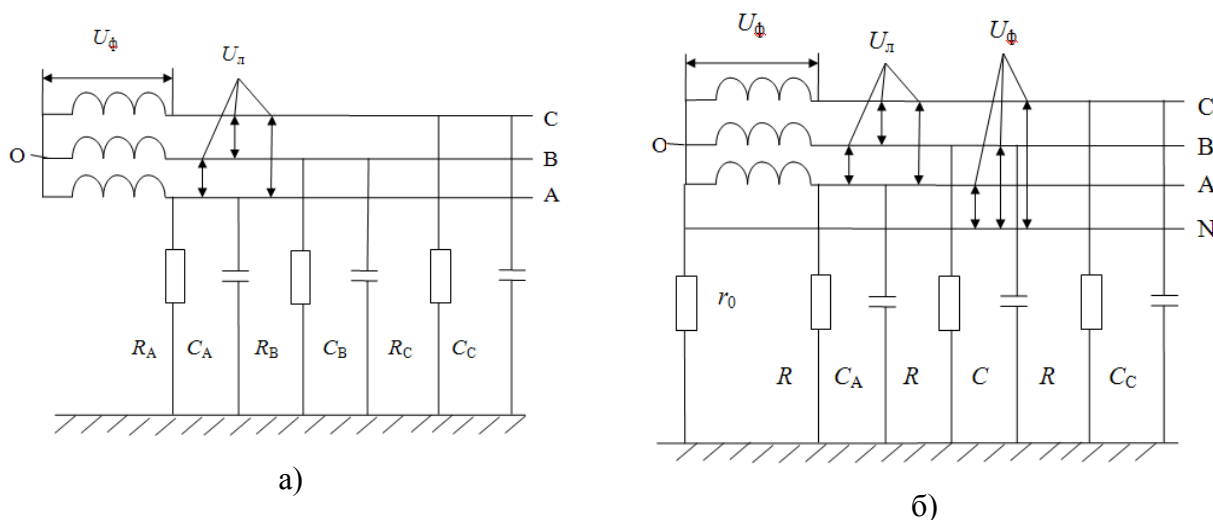
Согласно ПУЭ (Правил устройства электроустановок) при напряжении до 1000 В применяют следующие виды электрических трехфазных сетей:

- трехпроводная с изолированной нейтралью (рис. 1а);
- четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью (рис. 1б).

Изолированной называется нейтраль генератора или трансформатора, не присоединенная к заземляющему устройству.

Глухозаземленной называется нейтраль генератора или трансформатора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление  $r_0$ .

При нормальном режиме работа трехфазной сети с любым режимом нейтрали потенциал нулевой точки равен нулю. Между нулевой точкой (нейтралью – N) и любым фазным проводом (А, В, С) действует фазное напряжение  $U_{\phi}$ . Так как нулевой проводник О в системе с глухозаземленной нейтралью непосредственно соединен с нейтралью, то между ним и любой фазой также действует фазное напряжение. Между фазными проводниками действует линейное напряжение  $U_{\pi}$ .



**Рис. 1. Виды электрических трехфазных сетей:**

а - трех проводная с изолированной нейтралью; б - четырех проводная с глухозаземленной нейтралью; А, В, С – фазные проводники; N - нулевой рабочий проводник; О- нейтраль;  $U_{\phi}$  - фазное напряжение;  $U_{\pi}$  - линейное напряжение;  $R_A, R_B, R_C$  - активное сопротивление изоляции фазных проводников (согласно ПУЭ не менее 0,5 МОм);  $C_A, C_B, C_C$  - емкости фаз относительно земли;  $r_0$  - сопротивление заземления нейтрали (согласно ПУЭ 4 Ом)

Наибольшее распространение получили трехфазные сети, у которых линейное напряжение  $U_{л} = 380$  В, фазное  $U_{\phi} = 220$  В, а между линейным и фазным напряжениями существует зависимость  $U_{л} = U_{\phi} \sqrt{3}$ .

Идеальной изоляции, т.е. такой, у которой сопротивление относительно земли бесконечно велико, в практике не существует. Поэтому на каждом участке длины провода изоляция имеет конечное активное сопротивление ( $R_A, R_B, R_C$ ) Кроме того, каждый участок провода имеет емкость относительно земли ( $C_A, C_B, C_C$ ).

Для сравнительной оценки опасности сетей ниже рассмотрены следующие сети с напряжением до 1000 В: трехфазные четырехпроводные с изолированной нейтралью и трехфазные четырехпроводные с глухозаземленной нейтралью при нормальном и аварийном режимах работы.

### 2.2.1. Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

В нормальном режиме работы при однофазном прикосновении (рис. 2а) сила тока, проходящего через человека для случая симметричного сопротивления изоляция фаз, т.е.  $R_A = R_B = R_C = R$  и  $C_A = C_B = C_C = C$ , определится выражением в комплексной форме

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + Z/3}, \text{ А} \quad (1)$$

где  $R_h$  - сопротивление тела человека, Ом;

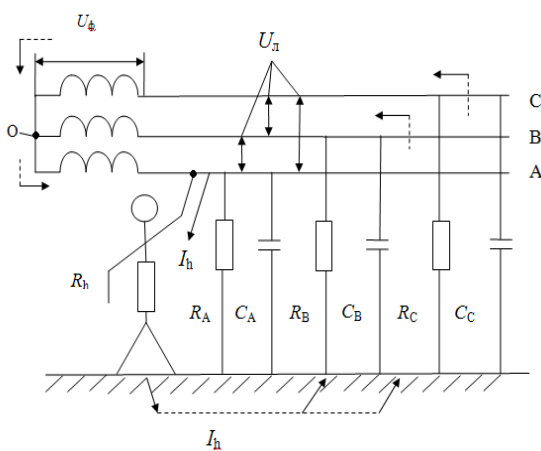
$Z$  - полное сопротивление одной фазы относительно земли, Ом.

$$Z = \frac{R_{из}}{(1 + j\omega CR_{из})}. \quad (2)$$

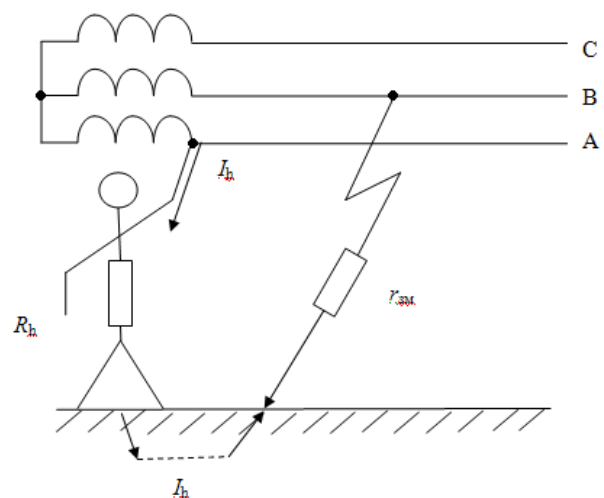
Здесь  $R_{из}$  - активное сопротивление изоляции, Ом;

$\omega$  - угловая частота;

$C$  - емкость провода относительно земли, Ф.



а)



б)

**Рис. 2. Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью:**

а - нормальный режим; б - аварийный режим

Для воздушных сетей малой протяженности емкость проводов относительно земли незначительна ( $C \approx 0$ ), тогда сила тока, протекающего через человека, выразится зависимостью

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{из}/3}, \text{ А} \quad (3)$$

При  $U_\phi = 220 \text{ В}$ ,  $R_h = 1000 \text{ Ом}$ ,  $R_{из} = 500\,000 \text{ Ом}$  сила тока через человека  $I_h = 1,3 \text{ мА}$ , т.е. относительно не опасна (ощутимый ток).

При использовании кабельных линий емкости проводов относительно земли и сопротивления изоляции имеют очень большое значение ( $C \neq 0$ ;  $R_{из} \rightarrow \infty$ ), тогда сила тока, протекающего через человека,

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + (X_c/3)^2}}, \text{ А} \quad (4)$$

где  $X_c = 1/\omega C$  - емкостное сопротивление изоляции проводов, Ом.

Из рассмотренных выражений следует, что сила тока, проходящего через человека, зависит от активного сопротивления изоляции (характерно для воздушных сетей) и емкостного сопротивления изоляции проводов (характерно для кабельных сетей).

В аварийном режиме, когда одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление  $r_{зм}$ , человек, прикасаясь к другой фазе, оказывается включенным между двух фаз (рис. 2б).

Величина тока, проходящего через человека,

$$I_h = \frac{U_\phi \sqrt{3}}{R_h + r_{зм}}, \text{ А} \quad (5)$$

При  $U_\phi = 220 \text{ В}$ ,  $R_h = 1000 \text{ Ом}$ ,  $r_{зм} = 0$  величина тока через человека  $I_h = 380 \text{ мА}$ , т.е. смертельна.

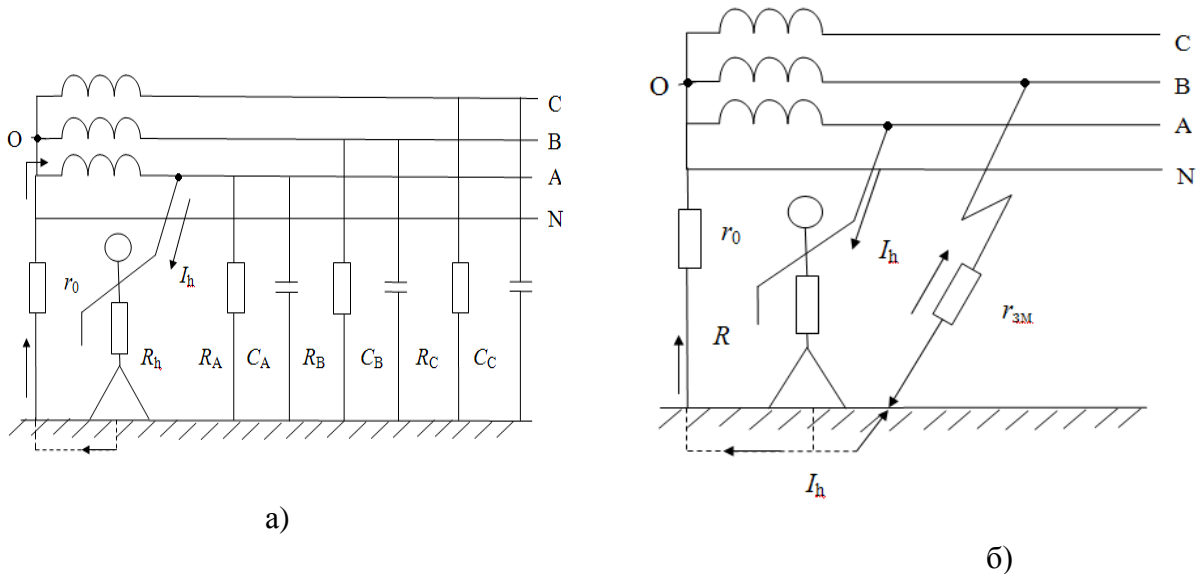
В аварийном режиме сила тока, проходящего через человека, резко возрастает, т.к. защитная роль сопротивлений изоляции сводится к нулю (т.к.  $r_{зм} \ll R_{из}$ ). Следовательно, в аварийном режиме значительно увеличивается опасность поражения электрическим током.

### 2.2.2. Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

В нормальном режиме при однофазном прикосновении (рис. 3а) напряжение прикосновения практически равно фазному ( $U_{пр} \approx U_\phi$ ), поскольку сопротивление заземления нейтрали  $r_0 \ll R_h$ . Сила тока, проходящего через человека, определится выражением

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0}, \text{ А} \quad (6)$$

то есть сила тока через человека зависит только от сопротивления человека и не зависит от качества изоляции. При  $U_{\phi} = 220$  В,  $R_h = 1000$  Ом,  $r_0 = 4$  Ом сила тока через человека  $I_h \approx 220$  мА, т.е. смертельна.



**Рис. 3. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью:**  
 а - нормальный режим; б - аварийный режим

В аварийном режиме одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление  $r_{3m}$  (рис. 3б).

Если сопротивление замыкания фазы на землю  $r_{3m} = 0$ , то напряжение прикосновения  $U_{пр} = \sqrt{3} U_{\phi} = U_{л}$ . Если сопротивление заземления нейтрали  $r_0 = 0$ , то аварийная фаза окажется соединенной с нейтралью и напряжение прикосновения  $U_{пр} = U_{\phi}$ . Оба случая являются смертельными для человека. В действительности  $r_{3m} \neq 0$  и  $r_0 \neq 0$ , кроме того  $r_{3m} \gg r_0$ , поэтому напряжение прикосновения, под которым окажется человек определяется зависимостью  $\sqrt{3} U_{\phi} \gg U_{пр} > U_{\phi}$ .

Если величина  $r_{3m} \approx r_0$ , то сила тока, проходящего через человека,

$$I_h = \frac{U_{\phi} (r_{3m} + r_0 \sqrt{3})}{r_{3m} r_0 + R_h (Z_{3m} + r_0)} = \frac{U_{\phi} \cdot 1,35}{R_h}.$$

Возрастание напряжения прикосновения и силы тока через человека повышает опасность сети с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме по сравнению с нормальным режимом работы.

### 2.2.3. Двухфазное прикосновение человека

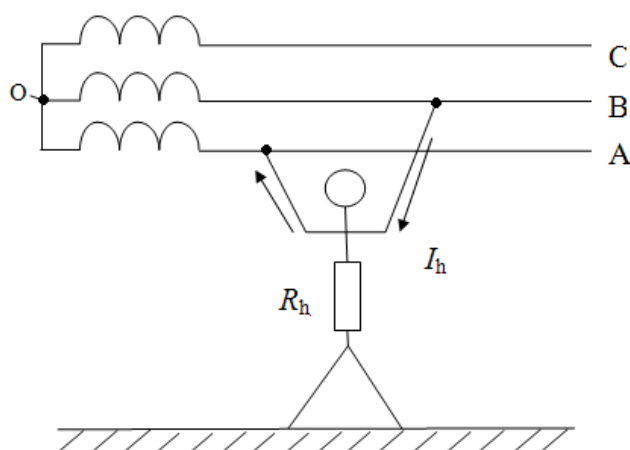


Рис. 4. Двухфазное прикосновение человека

Сила тока через человека при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции, а определяется только линейным напряжением и сопротивлением человека:

$$I_h = \frac{U_{л}}{R_h}, \text{ А} \quad (7)$$

При  $U_{л} = 380 \text{ В}$ ,  $R_h = 1000 \text{ Ом}$  сила тока через человека  $I_h = 380 \text{ мА}$ , т.е. смертельна.

### 2.3. Краткие выводы

Сравнительная оценка двух видов фазных сетей показывает следующее:

1. При однофазном прикосновении в период нормальной работы сети ток через человека определяется:

- в сети с изолированной нейтралью – сопротивлением изоляции и емкостью фаз относительно земли;

- в сети с глухозаземленной нейтралью – только сопротивлением человека.

2. Однофазное прикосновение к сети с изолированной нейтралью с малой емкостью и высоким сопротивлением изоляции безопаснее, чем прикосновение к сети с глухозаземленной нейтралью.

3. Однофазное прикосновение в период аварийной работы сети в сети с изолированной нейтралью опаснее, чем в сети с глухозаземленной нейтралью. Защитная роль изоляции сводится к нулю и резко возрастает ток через человека.

4. Опасность поражения при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции. Этот случай является наиболее опасным.

### 3. Описание лабораторной установки

Стенд (рис. 5), на котором выполняется работа, позволяет моделировать трехфазные сети с изолированной нейтралью (тумблер В3 отключен) и глухозаземленной нейтралью (тумблер В3 включен).

Вместо реально существующих распределенных сопротивлений изоляции и емкости фаз на стенде предусмотрены сосредоточенные сопротивления изоляции  $R_A, R_B, R_C$  и емкости  $C_A, C_B, C_C$ , меняя которые можно получить сети с различными параметрами.

Тело человека имитируется активным сопротивлением  $R_A$ ; переключателем П1 меняем фазу прикосновения к сети. Ток через человека измеряется миллиамперметром, мА.

Стенд позволяет выполнить аварийный режим работы сети, включением тумблера В4, т.е. замыкание на землю одной фазы, выбранной с помощью переключателя П2.

Положение тумблеров В3 и В4: вверх - «включено», вниз – «выключено».

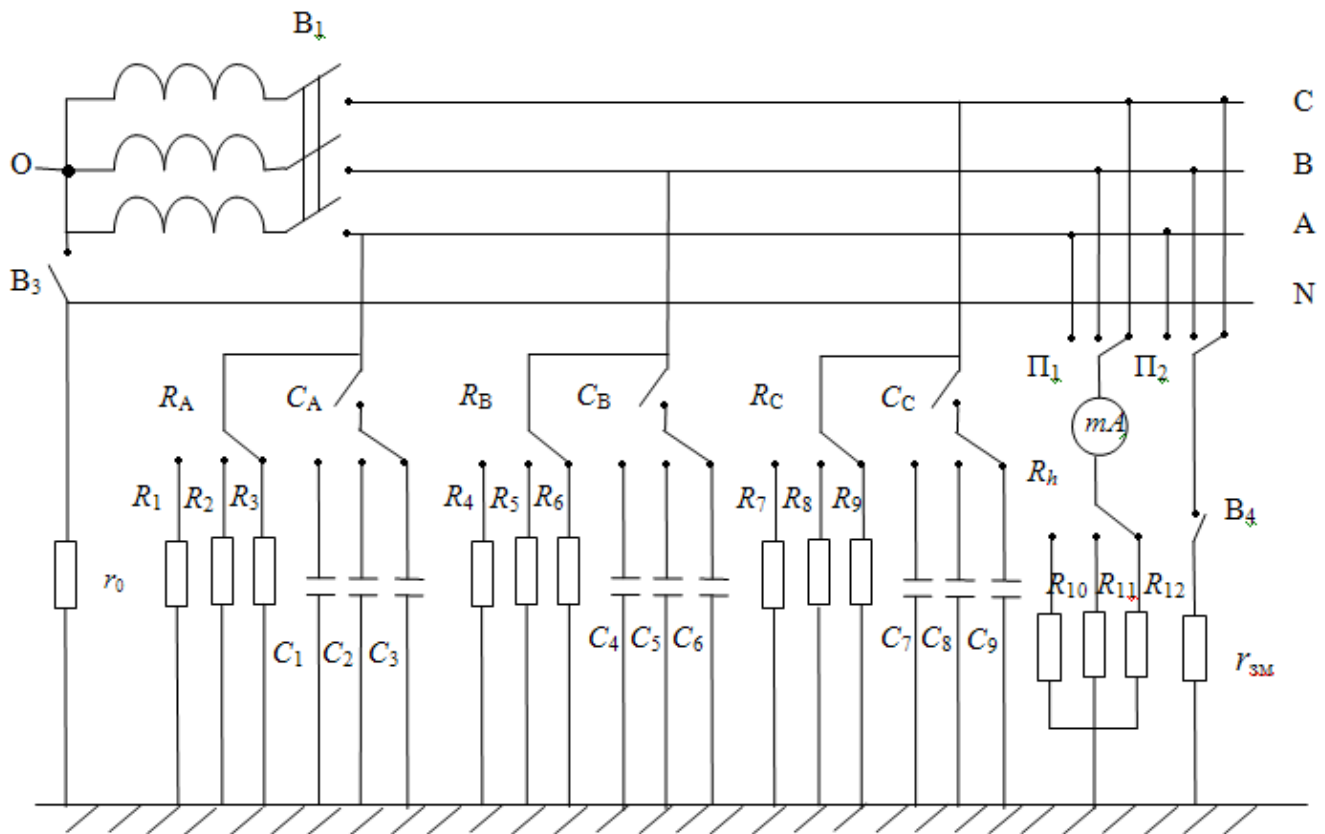


Рис. 5. Схема испытательного стенда



Таблица 1

### Основные величины элементов схемы

Сопротивление Изоляции фаз	Емкость фаз	Сопротивление тела человека
$R_1 = R_4 = R_7 = 1 \text{ кОм}$ $R_2 = R_5 = R_6 = 3 \text{ кОм}$ $R_3 = R_8 = R_9 = 5 \text{ кОм}$	$C_1 = C_4 = C_7 = 0,3 \text{ мкФ}$ $C_2 = C_5 = C_8 = 0,5 \text{ мкФ}$ $C_3 = C_6 = C_9 = 2,0 \text{ мкФ}$	$R_{10} = 0,5 \text{ кОм}$ $R_{11} = 1 \text{ кОм}$ $R_{12} = 0 \text{ кОм}$

## 4. Техника безопасности

4.1. При выполнении данной лабораторной работы необходимо выполнять требования по технике безопасности, общие для лаборатории.

4.2. Внешним осмотром убедиться в исправности состояния испытательного стенда.

4.3. К стенду подведено напряжение 380/220 В, поэтому студенты должны внимательно изучить теоретическую часть лабораторной работы и включать стенд только с разрешения преподавателя или лаборанта.

4.4. При наличии неисправности испытательный стенд отключить от сети и поставить в известность преподавателя.

## 5. Задание к работе

Таблица 2

№	Устанавливаемые величины	Варианты		
		1	2	3
1	$R_A = R_B = R_C$ , кОм $C_A = C_B = C_C$ , мкФ Человек касается фазы	1 0,3 А	4 0,3 В	1 0,3 С
2	$R_h$ , кОм Человек касается фазы $C_A = C_B = C_C$ , мкФ	0,5 А 0,3	1,0 В 0,3	0,5 С 0,3
3	$R_h$ , кОм Человек касается фазы $R_A = R_B = R_C$ , кОм	0,5 А 1	1,0 В 3	0,5 С 1
4	$R_A = R_B = R_C$ , кОм $C_A = C_B = C_C$ , мкФ $R_h$ , кОм человек касается фазы аварийный режим фазы	1 0,3 0,5 А В	3 0,3 1,0 В С	1 0,6 0,5 С А

## 6. Порядок выполнения работы

6.1. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от сопротивления человека

Включить стенд (загорается сигнальная лампа).

- включить заданные (табл. 2) активные сопротивления и емкости с помощью переключателей  $R_A, R_B, R_C$  и  $C_A, C_B, C_C$ ;
- переключателем П1 имитировать подключение человека к заданной фазе;
- меняя переключателем  $R_h$  сопротивление человека, записать силу тока для системы с изолированной и глухозаземленной нейтралью. Данные замеров занести в табл. 3.

6.2. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от активного сопротивления изоляции фазных проводов

- включить заданные емкости фаз  $C_A, C_B, C_C$
- включить заданное сопротивление человека переключателем  $R_h$ ;
- переключателем П1 имитировать подключение человека к заданной фазе;
  - симметрично изменяя сопротивление изоляции фаз (с помощью переключателей  $R_A, R_B, R_C$ ), записать силу тока через человека в системе с изолированной и глухозаземленной нейтралью. Данные замеров занести в табл. 3.

6.3. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от емкости фазных проводов относительно земли

- включить заданные активные сопротивления изоляции переключателями  $R_A, R_B, R_C$ ;
- включить заданное сопротивление человека переключателем  $R_h$ ;
- переключателем П1 имитировать подключение человека к заданной фазе;
- симметрично изменяя емкости фаз (с помощью переключателей  $C_A, C_B, C_C$ ), записать силу тока через человека в системе с изолированной и глухозаземленной нейтралью. Данные замеров занести в табл. 3.

6.4. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении человека к фазному проводу трехфазной сети при аварийном режиме работы сети (замыкание одного из фазных проводов на землю)

- включить заданные активные сопротивления и емкости с помощью переключателей  $R_A, R_B, R_C$  и  $C_A, C_B, C_C$ ;
- включить заданное сопротивление человека переключателем  $R_h$ ;
- переключателем П1 имитировать подключение человека к заданной фазе;
- для нормального режима работы сети записать значение силы тока через человека в системе с изолированной и глухозаземленной нейтралью;
- имитировать аварийный режим работы сети, включив тумблер В4.

Заданную фазу с помощью переключателя П2 замкнуть на землю. Для системы с изолированной и глухозаземленной нейтралью записать силу тока через человека. Данные замеров занести в табл. 3.

Отключить стенд от сети.

Таблица 3

	Параметр, влияющий на ток через человека	Ток через человека, мА, при режиме нейтрали	
		изолированная	глухозаземленная
1	Сопротивление человека $R_{10} =$ $R_{11} =$ $R_{12} =$		
2	Активные сопротивления изоляции $R_1 = R_4 = R_7 =$ $R_2 = R_5 = R_8 =$ $R_3 = R_6 = R_9 =$		
3	$C_1 = C_4 = C_7 =$ $C_2 = C_5 = C_8 =$ $C_3 = C_6 = C_9 =$		
4	Режим работы сети Нормальный аварийный		

## 7. Указания к составлению отчет

Отчет должен включать в себя:

1. цель работы;
2. полученные результаты в виде таблицы;
3. графики зависимости силы тока через человека от:
  - сопротивления человека;
  - активного сопротивления изоляции;
  - емкости фаз;
4. выводы об опасности поражения электрическим током в трехфазных сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью на основании анализа полученных результатов (рис. 2а);
5. схемы сетей с изолированной и глухозаземленной нейтралью (рис. 3а);

## 8. Вопросы для самопроверки

1. Виды электротравм
2. Пороговые значения тока
3. От чего зависит исход поражения электрическим током
4. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью

5. Однофазное прикосновение в сети с глухозаземленной нейтралью
6. Двухфазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью
7. Двухфазное прикосновение в сети с глухозаземленной нейтралью
8. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью в аварийном режиме
9. Однофазное прикосновение в сети с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме

## **Лабораторная работа №2**

# **Оценка эффективности действия защитного заземления и зануления в трехфазных сетях**

### **1. Цель работы**

Исследование эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях напряжением до 1000 В с изолированной и заземлённой нейтралью. Назначение, область применения и устройство зануления.

### **2. Теоретическая часть**

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляется в виде электротравм местного и общего характера. Степень поражения человека электрическим током зависит в конечном итоге от величины тока, которая в свою очередь определяется родом и частотой тока, сопротивлением тела человека и временем протекания тока через организм человека.

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-79 "ССБТ. Электробезопасность. Общие требования" Электробезопасность обеспечивается конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями.

К техническим способам и средствам защиты относятся: защитное заземление, зануление, выравнивание потенциалов, применение малого (до 42 В) напряжения, электрическое разделение сетей, защитное отключение, изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, усиленная, двойная), ограждающие устройства, предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности, средства индивидуальной защиты и предохранительные устройства.

В настоящей работе рассматриваются два способа защиты: защитное заземление и зануление.

Защитное заземление - это преднамеренное соединение с "землей" или ее эквивалентом металлических частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции фаз. Связь металлических конструкций электрических установок и корпусов электроприёмников с землей осуществляется посредством заземляющих проводников и металлических электродов (труб, стержней, уголков, полос), располагаемых в земле и называемых заземлителями. Совокупность заземлителей и заземляющих проводников называется заземляющим устройством.

Назначение защитного заземления - это устранение опасности поражения электрическим током, если человек коснется корпуса электрической установки, находящегося под напряжением при нарушении изоляции фаз.

Защитное заземление применяется в электрических сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и в сетях напряжением более 1000 В с любым режимом нейтрали.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ - 85) защитное заземление корпусов электроустановок обязательно при напряжении свыше 36 В переменного и 110 В постоянного тока в помещениях повышенной опасности, а в помещениях без повышенной опасности - при напряжении 500 В и выше.

Принцип действия защитного заземления заключается в снижении напряжения на корпусе электроустановки до безопасного значения. Величиной, характеризующей степень опасности прикосновения человека к корпусу электрической установки, находящейся под напряжением, является напряжение прикосновения, которое представляет собой разность потенциалов заземлителя  $\varphi_3$  основания  $\varphi_{oc}$

$$U_{np} = \varphi_3 - \varphi_{oc} = \varphi_3 - \varphi_{oc} \cdot (1 - r/x) = \varphi_3 \cdot \alpha \quad (1)$$

где  $\alpha$  - коэффициент прикосновения;

$r$  - радиус заземлителя;

$x$  - расстояние от электрооборудования до заземлителя.

Потенциал заземлителя определяется величиной тока, замыкания на землю  $I_3$  и величиной сопротивления заземляющего устройства  $R_3$ :

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3, \text{ В} \quad (2)$$

Величина потенциала основания, т.е. места, на котором установлено электрооборудование и зона обслуживания, зависит от расстояния его до заземлителя (формула 1). В случае, когда заземлитель расположен непосредственно под защищаемым электрооборудованием, ( $x = r$ ), потенциал основания равен потенциалу заземлителя и напряжение прикосновения равно нулю. Если же заземлитель удален от электроустановки на расстояние более 20 м ( $x \geq 20$ ), то потенциал основания можно считать равным нулю, а напряжение прикосновения будет максимальным и равным напряжению на корпусе электроустановки  $U_k$ , которое соответствует потенциалу заземлителя ( $U_k = I_3 \cdot R_3$ ).

Учитывая это, с целью уменьшения напряжения на корпусе электроустановки, ПУЭ ограничивают сопротивление защитного заземления в установках до 1000 В следующими значениями: если суммарная мощность источников питания сети  $P \leq 100$  кВт, то  $R_3 \leq 10$  Ом, если  $P > 100$  кВт, то  $R_3 \leq 4$  Ом. Кроме того, из выражения (9.2) видно, что напряжение прикосновения определяется также силой тока, стекающего на землю через заземлитель. Чем больше сила тока, стекающего на землю, тем выше напряжение на корпусе.

Величина тока замыкания на землю зависит от режима нейтрали сети. В случае трехфазной сети с изолированной нейтралью (рис. 1) ток замыкания на землю

$$I_3 = U_{\phi} / (R_3 + z/3), \quad (3)$$

где  $U_{\phi}$  - фазное напряжение сети, В;

$z$  - полное сопротивление фазных проводов относительно земли

$$z = r / (1 + j\omega rc);$$

$r$  и  $c$  - соответственно активное сопротивление изоляции провода и емкость провода относительно земли,

$j$  - оператор комплексной величины;

$\omega$  - угловая частота тока,  $\text{с}^{-1}$ , Гц

Для электрической сети малой протяженности емкость фаз относительно земли незначительна ( $C = 0$ ). В этом случае сопротивление изоляции, определяется величиной активного сопротивления изоляции фаз относительно земли, а величина тока замыкания на землю вычисляется из выражения:

$$I_3 = U_{\phi} / (R_3 + R_{\text{из}}/3) \quad (4)$$

Согласно ПУЭ сопротивление изоляции фаз  $R_{\text{из}}$  относительно земли должно быть не менее 0,5 МОм, следовательно, величина тока замыкания на землю будет малой, а напряжение на корпусе незначительным. Даже в случае неисправной изоляции, когда ее сопротивление может снизиться до нескольких сотен Ом, защитное заземление в сети с изолированной нейтралью обеспечивает защиту.

Например, при  $R_{\text{из}} = 300$  Ом,  $R_3 = 4$  Ом и  $U_{\phi} = 220$  В ток замыкания на землю равен  $I_3 = 220 / (4 + 300/3) = 2,2$  А, напряжение на корпусе  $U_{\text{к}} = 2,2 \cdot 4 = 8,8$  В, что не опасно для человека.

Защитное заземление в сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью не применяется, так как не обеспечивает безопасности человека. Это объясняется тем, что ток замыкания на землю в сети с заземленной нейтралью не зависит от сопротивления изоляции фаз и величина его значительно больше, чем в сети с изолированной нейтралью:

$$I_3 = U_{\phi} / (R_3 + R_0), \quad (5)$$

где  $R_0$  - сопротивление заземления нейтрали;

$R_3$  и  $R_0$  - согласно ПУЭ-85 принимаются равными 4 Ом в сетях напряжением 380/220 В. При этом напряжение на корпусе заземленной установки будет опасным.

Для защиты человека в сети с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В применяется зануление.

Занулением называется преднамеренное соединение металлических корпусов электрооборудования к нулевому защитному проводнику. Назначение

зануления - устранение опасности поражения человека электрическим током при "пробое" на корпус электроустановки. Это достигается автоматическим отключением поврежденной установки от сети. Принцип действия зануления иллюстрирует рис. 2.

При замыкании фазы на корпус электроустановки в цепи источник питания - фазный провод — аппарат защиты – корпус электроустановки - нулевой защитный проводник будет протекать ток короткого замыкания  $I_{кз}$ . Так как сопротивление нулевого защитного проводника меньше суммы сопротивлений  $R_n$  и  $R_o$ , то  $I_{кз} > I_3$  и приближенно можно считать, что

$$I_{кз} = U_{\phi}/(Z_n+Z_T/3), \quad (6)$$

где  $Z_n$  - полное сопротивление петли проводников фаза-нуль;  
 $Z_T$  - полное сопротивление трансформатора.

Для быстрого и надежного срабатывания аппарата защиты необходимо, чтобы

$$I_{кз} \geq K I_{ном}, \quad (7)$$

где  $I_{ном}$  - номинальный ток срабатывания защиты;

$K$  - коэффициент кратности тока, который для предохранителей с плавкой вставкой берется равным 3, а для электромагнитных автоматических выключателей принимается в пределах 1,25 - 1,4.

Повторное заземление необходимо на случай обрыва нулевого защитного проводника со стороны источника питания.

Во избежание нарушения целостности нулевого защитного проводника в нем запрещается устанавливать выключатели и предохранители.

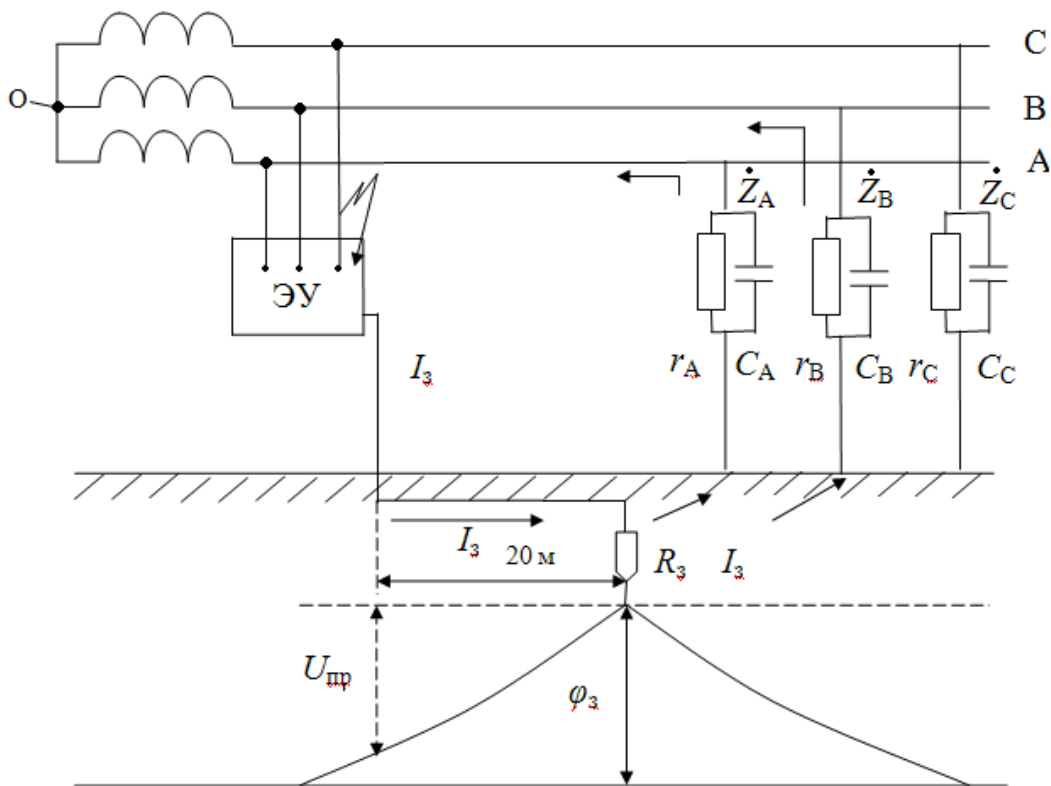
### 3. Описание лабораторной установки

Работа выполняется на стенде (рис. 3), который позволяет имитировать "пробой" изоляции фаз на корпус электроустановки в трехфазных сетях с изолированной и заземленной нейтралью, а также демонстрирует принцип действия зануления.

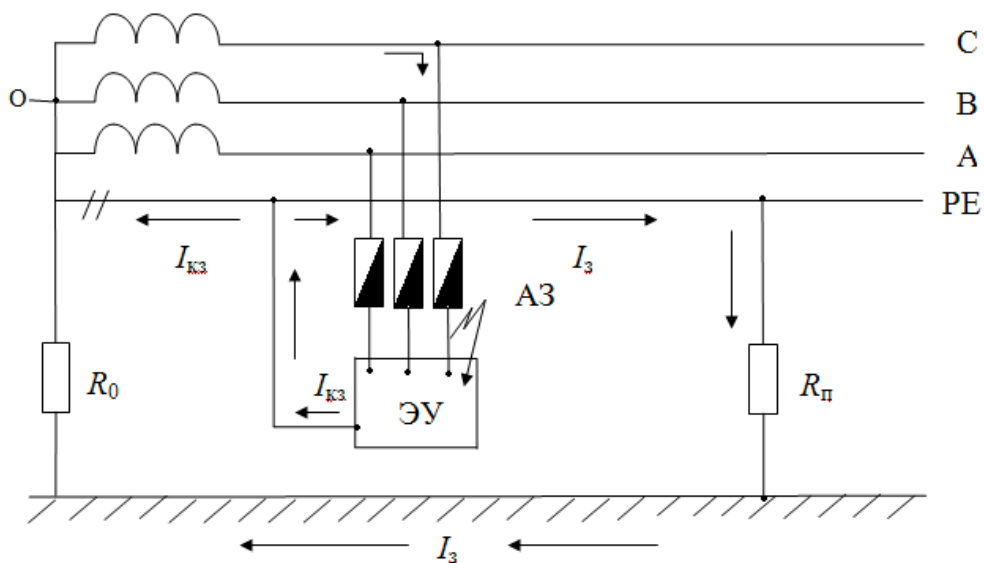
Включение стенда производится тумблером Р (вверх), при этом загораются индикаторные лампочки Л1, Л2, Л3. Тумблер В1 служит для включения заземления нейтрали. Выключатели В2-В10 предназначены для подключения набора сопротивлений R и емкостей C, имитирующих активное сопротивление изоляции и ёмкость фаз относительно земли. Переключатели П1 и П2 позволяют подключить различные фазы к корпусам электроустановок ЭУ1 и ЭУ2. "Пробой" изоляции осуществляется с помощью кнопок К1 и К2. Для регистрации напряжения на корпусах электроустановок применяются вольтметры V3 и V2, включающиеся соответственно тумблерами В11 и В14. Вольтметр V1 показывает линейное напряжение на стенде. Выключатели В12, В13 и В15 служат для подключения корпусов ЭУ1 и ЭУ2 к защитному заземлению Rз1 и Rз2. Подсоединение корпуса ЭУ2 к нулевому защитному



проводнику PE осуществляется с помощью тумблера В16. Для автоматического отключения установки при "пробое" изоляции на корпус ЭУ2 используются автоматические предохранители ПР1, ПР2 и ПР3. Нулевой защитный проводник PE имеет повторное заземление  $R_n$ .



**Рис. 1. Схема защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью:**  
 ЭУ - электрическая установка;  $R_3$  - сопротивление защитного заземления;  $Z_A, Z_B, Z_C$  - комплекс полного сопротивления фазных проводников относительно земли;  $I_3$  - ток замыкания на землю



**Рис.2. Схема зануления в трехфазных сетях с заземленной нейтралью:**  
 ЭУ - электроустановка; АЗ - автомат защиты;  
 $R_0$  - заземление нейтрали;  $R_n$  - повторное заземление нулевого защитного проводника PE

## 4. Техника безопасности

4.1. При выполнении лабораторной работы необходимо выполнять требования по технике безопасности, общие для лаборатории.

4.2. Перед началом исследования убедиться по внешнему виду в исправном состоянии стенда.

4.3. Запрещается включать стенд при отсутствии преподавателя или лаборанта.

4.4. Замыкать кнопки К1 и К2 разрешается после подготовки и проверки схемы исследования согласно заданию.

4.5. При замеченных неполадках в схеме лабораторного стенда, неисправностях приборов, выключателей, прекратить исследования, отключить стенд от сети и поставить в известность преподавателя.

Самостоятельно устранять неисправность запрещается.

## 5. Порядок выполнения работы

5.1. Исследование эффективности защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью.

5.1.1. Подготовить схему стенда для исследования трехфазной сети с изолированной нейтралью.

Выключатели В1, В12, В13, В14, В15 и В16 поставить в положение "выключено" (вниз), а выключатели В2-В10 – в положение "включено" (вверх).

Переключатель П1 поставить в положение "А" (замыкание фазы А на корпус ЭУ1).

Включить вольтметр V3 выключателем В11.

Переключателями П3-П8 установить сопротивление изоляции фаз относительно земли соответственно R1-R4-R7 и С3-С6-С9 (наименьшее сопротивление изоляции фаз относительно земли).

5.1.2. Включить питание стенда (выключатель Р).

5.1.3. Замкнуть фазу А на корпус ЭУ 1, для чего нажать кнопку К1 и по вольтметру V3 измерить напряжение на незаземленном корпусе ЭУ1. Результат записать в таблицу 1.

5.1.4. Подключить корпус ЭУ 1 к защитному заземлению, для чего включить тумблеры В12 и В13. Произвести измерения величины тока замыкания на землю при замыкании фазы А на корпус для различных значений сопротивлений изоляции и емкостей фаз относительно земли, устанавливаемых с помощью переключателей П3-П8: 1)R1-R4-R7; 2) R2-R5-R8; 3)R3-R6-R9; 4) С1-С4-С7; 5) С2-С5-С8; 6) С3-С6-С9.

При измерениях 1,2,3 выключатели В6, В8, В10 отключить, чтобы исключить влияние емкостей фаз, а при измерениях 4,5,6 включить В6,В8,В10 и выключить В5,В7,В9 для исключения влияния активной составляющей сопротивления изоляции фаз. Замыкание фазы А производить кнопкой К1 после подготовки схемы к каждому

измерению. Результаты записать в табл. 1.

По формуле 2 подсчитать значение напряжения на заземленном корпусе, при этом принять  $R_3 = 4$  Ом. Результаты записать в табл. 1.

5.2. Исследование эффективности защитного заземления в трехфазной сети с заземленной нейтралью.

5.2.1. Подготовить схему стенда, для чего включить тумблер В1, переключатель П2 поставить в положение "В".

Выключатели В11, В12 и В13 выключить.

5.2.2. По вольтметру V2 измерить напряжение на незаземленном корпусе установки ЭУ2 при замыканий на него фазы "В". Для этого включить тумблер В14 и нажать кнопку К2.

Результат записать в таблицу 1.

5.2.3. Подключить корпус ЭУ2 к защитному заземлению с помощью выключателя В15. Измерить напряжение на заземленном корпусе по вольтметру V2 и ток замыкания на землю по амперметру А при замыкании фазы В на корпус ЭУ2. Результаты записать в таблицу 1.

5.3. Подготовить схему стенда для демонстрации действия зануления.

5.3.1. Подключить корпус ЭУ2 к нулевому защитному проводнику, для чего включить тумблер В16.

5.3.2. Проверить действие зануления при замыкании на корпус ЭУ2 фаз А, В и С. Подключение фаз к корпусу ЭУ2 осуществляется переключателем П2, замыкание на корпус кнопкой К2. Отметить в таблице 1 действие зануления при замыкании фаз А, В и С на корпус ЭУ2. Фазы А, В, С – сработали.

5.4. Отключить питание стенда выключателем Р.

5.5. Сделать вывод об эффективности защитного заземления при использовании его в сетях с изолированной и заземленной нейтралью.

5.6. Назначение защитного зануления.

## **6. Указания к составлению отчета**

Назначение работы и список исполнителей. Цель работы, схема защитного заземления в сети с изолированной нейтралью и схема зануления в сети с заземленной нейтралью. Таблица результатов экспериментов и выводы.

## **7. Вопросы для самопроверки**

1. Назначение защитного заземления.
2. Область применения защитного заземления.
3. Принцип действия защитного заземления.
4. В каких сетях применяется зануление.
5. Принцип действия зануления.
6. Перечислить основные способы и средства защиты от поражения электрическим током.

Результата экспериментов

Характеристика сети	Сопротивление изоляции фаз $r$ , Ом, и емкость фаз относительно земли	Напряжение на незаземленном корпусе, В (при $R_1-R_4-R_7$ и $C_3-C_6-C_9$ )	Ток замыкания на землю, А	Напряжение на заземленном корпусе, В
1.Трехфазная сеть с изолированной нейтралью	$R_1 = R_4 = R_7 = 1200$			
	$R_2 = R_5 = R_8 = 2200$			
	$R_3 = R_6 = R_9 = 3600$			
	$C_1 = C_4 = C_7 = 0,5$			
	$C_2 = C_5 = C_8 = 1,0$			
	$C_3 = C_6 = C_9 = 2,0$			
2. Трехфазная сеть с заземленной нейтралью	$R_1-R_4-R_7$ $C_3-C_6-C_9$			
3.Трехфазная сеть с заземленной нейтралью; (зануление)	фаза А фаза В фаза С			

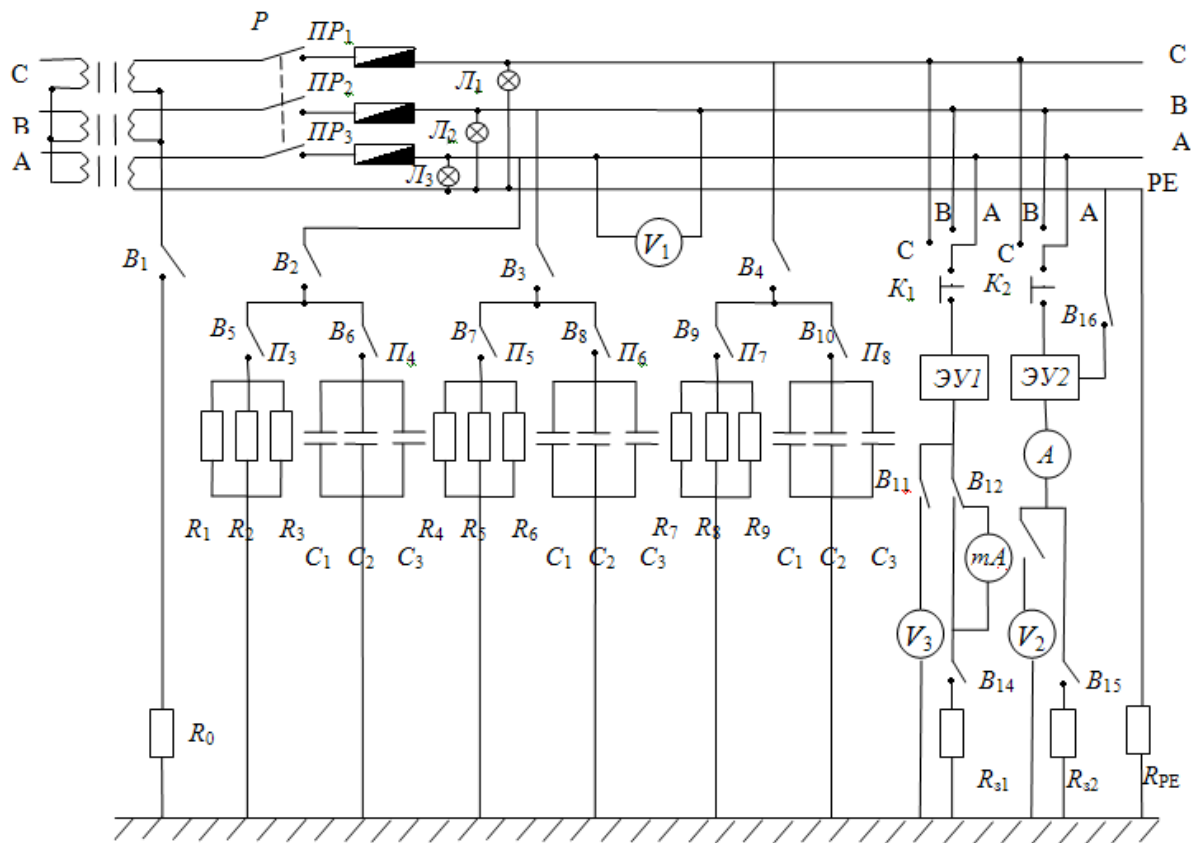


Рис. 3. Электрическая схема испытательного стенда

## Лабораторная работа №2а

### Защитное заземление и зануление в трехфазных пятипроводных сетях

#### 1. Цель работы

1.1. Оценить эффективность защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных трехпроводных сетей с изолированной нейтралью и действие защитного заземления в трехфазных пятипроводных сетях с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

1.2. Оценить эффективность зануления в трехфазной пятипроводной сети с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

#### 2. Теоретическая часть

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом (вода, каменистый грунт) нетоковедущих частей электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением. Действие защитного заземления сводится к снижению до безопасного значения напряжения прикосновения – разности потенциалов между двумя точками электрической цепи (корпуса и основания), которых одновременно касается человек. Безопасность достигается, во-первых, за счет уменьшения потенциала на заземленном корпусе электроустановки (ЭУ) из-за малого сопротивления защитного заземления и большого сопротивления изоляции фазных проводников в электрических сетях с изолированной нейтралью и, во-вторых, за счет повышения потенциала основания, на котором стоит человек в случае расположения заземлителя вблизи заземленного корпуса.

Защитное заземление наиболее эффективно действует в трехфазных трехпроводных сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью в питающем трансформаторе, а также в однофазных двухпроводных сетях с изолированным от земли нулевым рабочим проводником

При эксплуатации электрооборудования в производственных условиях возникают аварийные режимы, когда происходят одновременные замыкания фазных проводников на корпусах двух электроустановок, с отдельными заземляющими устройствами. При этом возникает двойное замыкание на землю и заземленное оборудование оказывается под напряжением, определяемым формулами:

$$\text{- на корпусе 1 } U_1 = I_3 R_1 = \frac{U_\Lambda}{R_1 + R_2} R_1, \text{ В,}$$

$$\text{- на корпусе 2 } U_2 = I_3 R_2 = \frac{U_\Lambda}{R_1 + R_2} R_2, \text{ В,}$$

где  $I_3 = \frac{U_\Lambda}{R_1 + R_2}$  - ток через заземлители корпусов 1 и 2, А;

$R_1$  и  $R_2$  – сопротивления заземляющих устройств, Ом;  $U_\Lambda$  - линейное напряжение сети, В (на стенде  $U_\Lambda = 380$  В).

Из приведенных зависимостей  $U_1$  и  $U_2$  видно, что в случае равенства  $R_1$  и  $R_2$  напряжение, возникшее на заземленных корпусах 1 и 2, будет равным половине линейного напряжения, т.е.  $U_1 = U_2 = 0,5 U_{л}$ .

Такое напряжение представляет высокую опасность для обслуживающего персонала, тем более, что двойное замыкание может существовать длительно. В данном случае необходимо оснащать такие установки быстродействующей релейной защитой или применять зануление как меру основной защиты.

Занулением называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником (НЗП) металлических нетоковедущих частей электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением.

Зануление предназначено для устранения опасности поражения человека электрическим током при замыкании фазного проводника на корпус путем быстрого автоматического отключения поврежденной электроустановки от питающей сети.

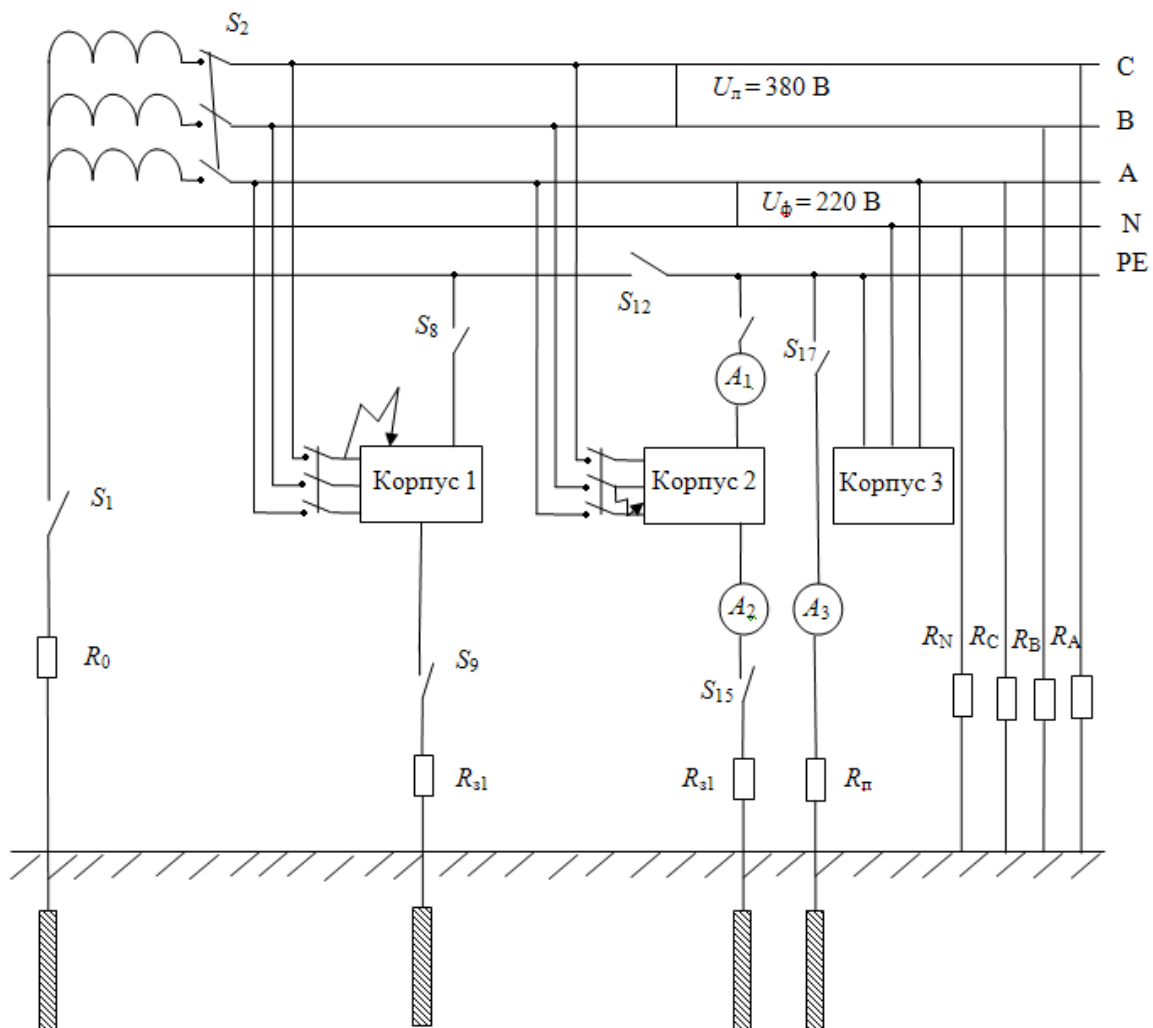
Принцип действия зануления – превращение тока замыкания фазного проводника на корпус электроустановки ЭУ в ток короткого замыкания, т.е. замыкание между фазным и нулевым проводником, с целью создания большого тока, необходимого для срабатывания защиты и автоматического отключения поврежденной ЭУ от питающей сети за время  $\tau \leq 0,2$  с. Кроме того, при соединении зануленных корпусов с землей через нулевой защитный проводник (НЗП) и повторное заземление (ПЗ), в случае замыкания фазного проводника на корпус ЭУ, до момента отключения напряжение на замкнутых корпусах снижается.

Таким образом, зануление осуществляет два защитных действия – быстрое автоматическое отключение поврежденной электроустановки от питающей сети и снижение напряжения на зануленных металлических корпусах относительно земли.

Зануление применяется преимущественно в трехфазных четырехпроводных сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью.

### **3. Описание лабораторного стенда**

Лабораторный стенд представляет собой модель электрической 3-фазной пятипроводной сети с источником питания, электропотребителями, средствами защиты, измерительными приборами. Упрощенная электрическая схема лабораторного стенда представлена на рис. 1. В качестве источника используется трехфазный трансформатор. Стенд включается трехфазным автоматом  $S2$  – положение 1. При этом загораются индикаторы, расположенные рядом с фазными проводниками  $A, B, C$ . Режим нейтрали сети, изолированный или заземленный с сопротивлением  $R_0$ , изменяется переключателем  $S1$ . Нулевой рабочий проводник обозначен на схеме  $N$ , по нему постоянно течет ток при однофазной нагрузке в корпусе 3 или в случае неравномерных трехфазных нагрузок в корпусах 1 и 2. Нулевой защитный проводник обозначен на схеме PE, он предназначен для действия защитного средства - зануления.



**Рис. 1. Электрическая схема лабораторного стенда**

Активные сопротивления фазных проводников и проводника  $N$  смоделированы сосредоточенными, равными между собой сопротивлениями:  $R_N = R_A = R_B = R_C$ . Трехфазные электропотребители (корпус 1 и корпус 2) снабжены автоматическими выключателями  $S_5$  и  $S_{10}$ . Электропотребитель с корпусом 3 является однофазным.

Лабораторный стенд моделирует два способа защиты: защитное заземление и зануление. Подключение корпусов 1 и 2 к заземляющим устройствам с сопротивлениями  $R_{31}$  и  $R_{32}$  осуществляется с помощью переключателей  $S_9$  и  $S_{15}$  соответственно. Подключение корпусов 1 и 2 к  $PE$ -проводнику осуществляется переключателями  $S_8$  и  $S_{14}$  (правое положение) соответственно. Повторное сопротивление  $R_{\pi}$  нулевого защитного проводника подключается к  $PE$ -проводнику переключателем  $S_{17}$ . Корпус 3 подключен к проводнику  $PE$  напрямую без переключателя. Обрыв проводника  $PE$  между точками подсоединения корпусов 1 и 2 имитируется с помощью переключателя  $S_{12}$ .

Лабораторный стенд имеет три измерительных прибора: цифровой вольтметр с диапазоном измерения от 0 до 2000 В, цифровой амперметр с диапазоном измерения от 0 до 2000 А, цифровой миллисекундомер с диапазоном измерения от 0 до 999 мс. Вольтметр включается в цепь через специальные

гнезда внешними проводниками. Включение амперметра в цепь осуществляется с помощью переключателя. В положении 1 включается амперметр  $A1$  для измерения тока короткого замыкания, в положении 2 включается амперметр  $A2$  для измерения тока, стекающего через заземлитель корпуса 2, в положении 3 включается амперметр  $A3$  для измерения тока через повторное заземление нулевого защитного проводника  $PE$ . Секундомер предназначен для измерения времени срабатывания автоматического выключателя  $S10$  в схеме зануления корпуса 2.

#### 4. Техники безопасности

1. Перед началом работы на лабораторном стенде по оценке эффективности защитного заземления и зануления студентам необходимо ознакомиться с электрической схемой, выполненной на стенде, и описанием этой схемы в разделе 4.

2. Лабораторный стенд подключен к 3-фазной электрической сети напряжением 380 В частотой 50 Гц.

3. Корпус лабораторного стенда выполнен из электроизоляционного материала. Стенд имеет двойную изоляцию.

4. Приступать к выполнению эксперимента нужно после получения разрешения и выдачи задания преподавателем.

5. При возникновении любых неисправностей или отказов (искрение, поломки выключателей, тумблеров, погашение сигнальных ламп на фазных проводниках или др.) прекратить эксперимент и отключить стенд. Самостоятельно дефекты не устранять.

**Внимание!** Бережно относиться ко всему оборудованию стенда. Аккуратно выполнять эксперимент.

#### 5. Порядок выполнения работы

5.1. Оценка эффективности действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью.

а) Незаземленный корпус

- Изолировать нейтраль – перевести переключатель  $S1$  в левое положение.
- Перевести переключатели  $S3, S4$ , в нижнее положение, а переключатели  $S8, S14, S17, S9, S15$  – в левое положение.
- Установить значения активных сопротивлений изоляции переключателем  $S18$  в соответствии с заданием преподавателя.
- Включить стенд – положение  $S2 – 1$ , при этом загораются лампы.
- Подключить ЭУ 2 к сети – положение автомата  $S10 – 1$  (ЭУ 1 отключена  $S5 – 0$ ).
- Произвести кнопкой  $S13$  замыкание фазного провода В на корпус 2.
- Вольтметром с помощью гибких проводников измерить напряжение незаземленного корпуса 2 относительно земли (гнезда  $X8$  и  $X2$  соединить с выходами вольтметра). Результат записать в табл. 1.



- б) Заземленный корпус
- Кнопкой “СБРОС” устранить замыкание фазного провода на корпус 2.
- Установить значение  $R_{32}$ , равное 4 Ом.
- Заземлить корпус 2 - переключатель  $S15$  в правое положение.
- Произвести замыкание фазного провода В на корпус 2.
- Переключатель амперметра – в положении “ОТКЛ.”
- Вольтметром с помощью гибких проводников измерить напряжения: заземленного корпуса 2 относительно земли (гнезда  $X8$  и  $X2$ );
- прикосновения при различных расстояниях до заземлителя (гнезда  $X8$  и  $X9$ ,  $X8$  и  $X6$ ,  $X8$  и  $X5$ ). Результаты записать в табл. 1.
- Измерить ток замыкания на землю, установив переключатель амперметра в положение А2, при этом загорается лампа, соответствующая данному подключению амперметра.
- Выполнить сброс замыкания на корпус, отключить амперметр.

### 5.2. Оценка эффективности действия защитного заземления в сети с заземленной нейтралью

- Заземлить нейтраль источника тока - переключатель  $S1$  в правое положение.
- Подключить  $N$  и  $PE$ -проводник к источнику питания –  $S3$  и  $S4$  поставить в верхнее положение.
- Отключить заземление –  $S15$  в левое положение.
- Кнопкой  $S13$  замкнуть фазный провод В на корпус 2.
- Измерить напряжение корпуса 2 относительно земли (гнезда  $X8$  и  $X2$ ).
- Включить заземление –  $S15$  в правое положение.
- Измерить напряжение корпуса 2 относительно земли (гнезда  $X8$  и  $X2$ ).
- Измерить ток замыкания на землю, установив переключатель амперметра в положение А 2.
- Результаты замеров занести в табл. 1.
- Выполнить сброс замыкания, отключить амперметр.

### 5.3. Оценка эффективности действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью при двойном замыкании на заземленные корпуса

- Изолировать нейтраль – перевести переключатель  $S1$  в левое положение.
- Перевести переключатели  $S3$ ,  $S4$ , в нижнее положение, а переключатели  $S8$ ,  $S14$ ,  $S17$ ,  $S9$ ,  $S15$  – в левое положение.
- Подключить корпус 1 к сети – положение автомата  $S5$  – 1.
- Одновременно кнопками  $S7$  и  $S13$  произвести замыкания фазных проводов А и В на корпуса 1 и 2 соответственно.
- Вольтметром измерить напряжение незаземленного корпуса 1 относительно земли (гнезда  $X4$  и  $X2$ ) и напряжение незаземленного корпуса 2 относительно земли (гнезда  $X8$  и  $X2$ ).
- Заземлить корпуса – переключатели  $S9$  и  $S15$  перевести в правое положение.

- Вольтметром измерить напряжение заземленного корпуса 1 относительно земли (гнезда X4 и X2) и напряжение заземленного корпуса 2 относительно земли (гнезда X8 и X2).
- Измерить ток замыкания на землю, установив переключатель амперметра в положение А2.
- Результаты замеров занести в табл. 1.
- Выполнить сброс замыканий, отключить амперметр.

Таблица 1

### Оценка эффективности защитного заземления

Тип питающей сети	Напряжение на незаземленном корпусе, В	Напряжение на заземленном корпусе, В	Напряжение прикосновения, В	Ток замыкания на землю, А
Сеть с изолированной нейтралью (замыкание на корпус 2)	$U_{к2} =$	$U_{к2} =$	$U_{пр1} =$ $U_{пр2} =$ $U_{пр3} =$	$I_3 =$
Сеть с заземленной нейтралью	$U_{к2} =$	$U_{к2} =$	-	$I_3 =$
Сеть с изолированной нейтралью (двойное замыкание на корпусах 1 и 2)	$U_{к1} =$ $U_{к2} =$	$U_{к1} =$ $U_{к2} =$	-	$I_3 =$

Сделать выводы об эффективности защитного заземления, сравнив соответствующие показания, и об эффективности режима нейтрали, сравнив показания напряжений на заземленных корпусах в сети с изолированной и заземленной нейтралью.

#### 5.4. Оценка эффективности действия зануления в трехфазной пятипроводной сети с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В

5.4.1. Определение времени срабатывания автоматов защиты при замыкании фазного провода на корпус при различном сопротивлении петли “фаза-нуль”.

- Заземлить нейтраль источника тока – перевести S1 в правое положение.
- Подключить N и PE-проводник к источнику питания – S3, S4 и S12 в верхнее положение.
- S9, S15 и S17 поставить в левое положение.
- Подключить корпуса 1 и 2 к PE-проводнику - переключатели S8 и S14 в правое положение.
- Подключить установки 1 и 2 к сети – положение автоматов S5 и S10 – 1.
- Переключателем S6 установить значение  $R_{PE} = 0,1$  Ом.
- Включить амперметр (положение А1).
- Нажать кнопку S13.

- Снять показания с миллисекундомера при срабатывании автомата защиты и тока замыкания на корпус  $I_1$  с амперметра А1.
- Установить значения  $R_{PE} = 0,2$ , затем  $0,5$  Ом и произвести измерения времени срабатывания защиты и тока замыкания на корпус  $I_2$  и  $I_3$  соответственно.
- Результаты занести в табл. 2.

5.4.2. Оценка эффективности повторного заземления при обрыве PE-проводника.

а) При отсутствии повторного заземления

- Отключить повторное заземление  $R_{п}$  от PE-проводника – переключатель S17 в левое положение.
- Произвести обрыв PE-проводника между 1 и 2 корпусами, для чего перевести переключатель S12 поставить в нижнее положение.
- Включить автоматы защиты - S5 и S10 в положение 1.
- Произвести замыкание фазного провода В на корпус 2 кнопкой S13.
- Амперметр поставить в положение «ОТКЛ.».
- Произвести измерения напряжения корпусов относительно земли (гнезда X4 и X2, X8 и X2, X11 и X2). Результаты занести в табл. 2.
- Выполнить сброс замыкания.

б) При наличии повторного заземления

- Подключить повторное заземление к PE-проводнику - переключатель S17 в правое положение.
- Установить  $R_{п} = 4$  Ом.
- Произвести замыкание фазного провода В на корпус 2 кнопкой S13.
- Амперметр поставить в положение «ОТКЛ.».
- Произвести измерения напряжения корпусов относительно земли (гнезда X4 и X2, X8 и X2, X11 и X2).
- Амперметр поставить в положение А3.
- Произвести измерение тока замыкания на землю  $I_3$ .
- Результаты записать в табл. 2.
- Выключить стенд.

Таблица 2

### Оценка эффективности зануления в сети с заземленной нейтралью

Исходные данные	Время срабатывания защиты, с	Напряжения корпусов относительно земли и ток замыкания
Сопrotивление петли «фаза-нуль» $R_{PE} = 0,1$ Ом $R_{PE} = 0,2$ Ом $R_{PE} = 0,5$ Ом	$\tau_1 =$ $\tau_2 =$ $\tau_3 =$	$I_1 =$ $I_2 =$ $I_3 =$
Обрыв PE-проводника:		$U_{к1} =$

- при отсутствии повторного заземления	-	$U_{к2} =$ $U_{к3} =$
- при наличии повторного заземления	-	$U_{к1} =$ $U_{к2} =$ $U_{к3} =$ $I_3 =$

Сделать выводы об эффективности зануления в сети с заземленной нейтралью в зависимости от сопротивления петли «фаза-нуль», сравнив время срабатывания защиты с допустимым, и об эффективности повторного заземления нулевого защитного проводника по показаниям напряжения на корпусах 1, 2, 3.

### 6. Указания к составлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать: цель работы, рисунок схемы лабораторного стенда, таблицы результатов и выводы.

# Лабораторная работа №3

## Контроль изоляции в электроустановках

### 1. Цель работы

1.1. Ознакомление с видами, методами и нормативными положениями контроля состояния изоляции электроустановок.

1.2. Практическое измерение сопротивления изоляции в сети с изолированной нейтралью.

### 2. Теоретическая часть

Возможность поражения электрическим током – один из наиболее часто встречающихся опасных производственных факторов. Анализ смертельных несчастных случаев на производстве показывает, что на долю поражения электрическим током приходится до 40%. Поэтому задача обеспечения электробезопасности занимает ведущее место в курсах «Безопасность жизнедеятельности» и «Производственная безопасность».

Одним из способов обеспечения электробезопасности является применение надлежащей изоляции (ПУЭ).

Изоляция – это технический диэлектрик, в котором под действием электрического напряжения свободные электроны создают ток утечки.

Следовательно, с ростом напряжения, приложенного к изоляции, его сопротивление уменьшается. При этом ток утечки возрастает. Снижение сопротивления изоляции может быть обратимым (при увлажнении) и необратимым (старение изоляции). На снижение сопротивления изоляции влияют также: запыление, химическое воздействие и естественное старение изоляции (изменение физической и химической структуры материала с течением времени). При этом изменение свойств изоляции протекает медленно и носит характер неравномерно-распределенного дефекта по всему объему диэлектрика. В месте дефекта появляются частичные разряды тока и выгорание изоляции, что может привести к возникновению короткого замыкания (пробой изоляции), электротравме и пожару.

Состояние изоляции в значительной мере определяет степень безопасности эксплуатации электроустановок. Сопротивление изоляции в сетях с изолированной нейтралью определяет ток через человека (рис.1). При глухозаземленной нейтрали ток через человека не зависит от сопротивления изоляции (рис.2). Но при плохом сопротивлении изоляции часто происходят ее повреждения, что приводит к замыканию на землю (корпус) и к коротким замыканиям. При замыкании на корпус возникает опасность поражения людей электрическим током, так как нетоковедущие части (корпус), с которыми человек нормально имеет контакт, оказываются под напряжением.

Чтобы предотвратить замыкание на землю и другие повреждения изоляции, при которых возникает опасность поражения людей электрическим током, а

также выходит из строя оборудование, необходимо проводить контроль изоляции.

Контроль изоляции – это измерение сопротивления изоляции токоведущих частей электроустановок с целью поддержания ее на уровне, обеспечивающем электробезопасность и предупреждение замыканий на землю и на корпус.

С целью проверки соответствия сопротивления изоляции установленным нормам, проводится периодический и постоянный контроль изоляции.

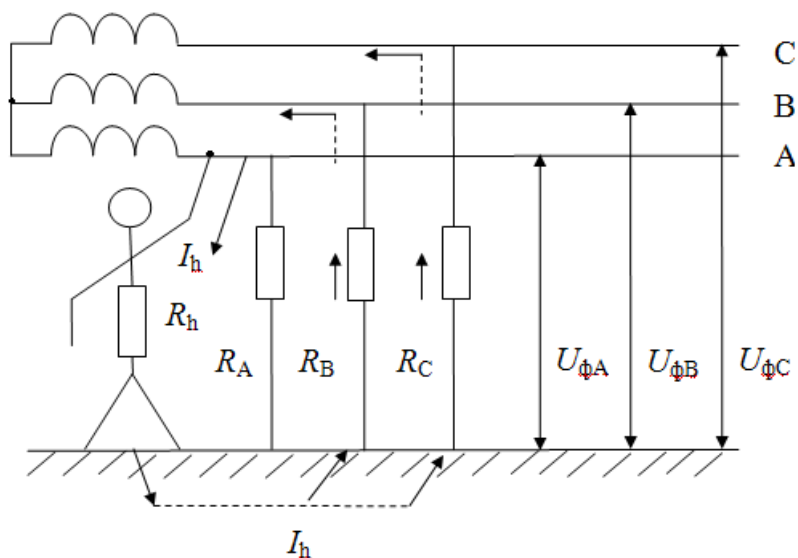


Рис. 1. Электрический ток через человека в сети с изолированной нейтралью

$$I_h = U_{\phi} / (R_h + R_{из}/3), \text{ А}, \quad (1)$$

где  $I_h$  – ток через человека,

$U_{\phi}$  – фазное напряжение,

$R_h$  – сопротивление человека,

$R_A = R_B = R_C = R_{из}$  – сопротивления изоляции фаз А, В, С.

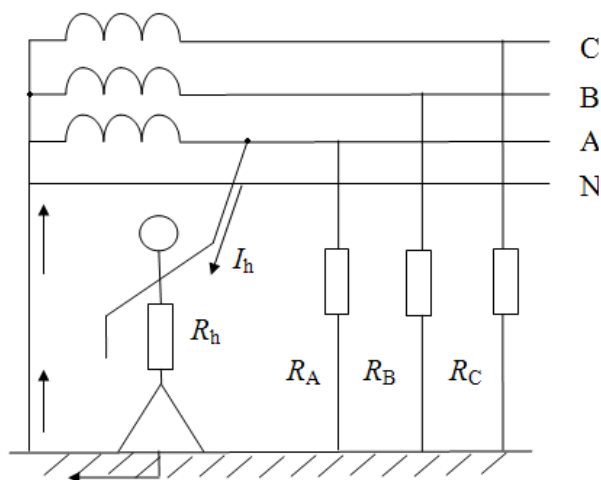


Рис. 2. Электрический ток через человека в сети с глухозаземленной нейтралью:  
О – нулевой провод.

$$I_h = U_{\phi} / R_h, \text{ А} \quad (2)$$

### 2.3. Периодический контроль изоляции

Периодический контроль изоляции – измерение ее сопротивления при приемке электроустановки после монтажа, периодически в сроки, устанавливаемые правилами (для сетей с напряжением до 1000В – не реже одного раза в год) или в случае обнаружения дефектов. Измерение согласно правилам должно производиться на отключенной установке. При таком измерении можно определить сопротивление изоляции отдельных участков сети, электрических аппаратов, трансформаторов, электродвигателей и тому подобное.

Измеряется сопротивление изоляции каждой фазы относительно земли и между каждой пары фаз на каждом участке между двумя последовательно установленными аппаратами защиты или за последним защитным аппаратом (автоматическим выключателем, плавным предохранителем). Сопротивление изоляции каждого участка в сетях напряжением до 1000В должно быть не ниже указанных величин (табл.1).

*Таблица 1*

**Минимально допустимые сопротивления изоляции электропроводок (ПУЭ, ПТЭ, ПТБ)**

№	Наименование испытываемой изоляции	R <sub>из</sub> , МОм
1	Электроустановки на напряжении выше 12 В переменного тока	0,5
2	Ручной электроинструмент и переносные светильники	0,5
3	Силовые и осветительные электропроводки	0,5
4	Электродвигатели переменного тока	0,5
5	Электроустановки U>1000 В в помещениях II-III кл.	1,0

Периодический контроль изоляции осуществляется мегомметром. Прибор имеет собственный источник питания – генератор постоянного тока и позволяет производить непосредственный отсчет величины сопротивления изоляции в МОм. С помощью мегомметра можно измерить фазные и межфазные сопротивления изоляции. Мегомметр развивает номинальное напряжение и дает правильные показания при вращении ручки генератора с частотой 1 об/сек.

В ПТЭ регламентируется напряжение мегомметра в зависимости от номинального напряжения электроустановки. Промышленностью выпускается мегомметры М1101 на напряжение 100, 500 и 1500В.

Измеренное таким образом сопротивление изоляции отдельных участков сети не может служить критерием безопасности, так как ток замыкания на землю определяется сопротивлением изоляции всей сети, относительно земли. В результате таких измерений выявляются участки с дефектной изоляцией, требующие профилактических мероприятий, для предупреждения замыкания на землю и коротких замыканий.

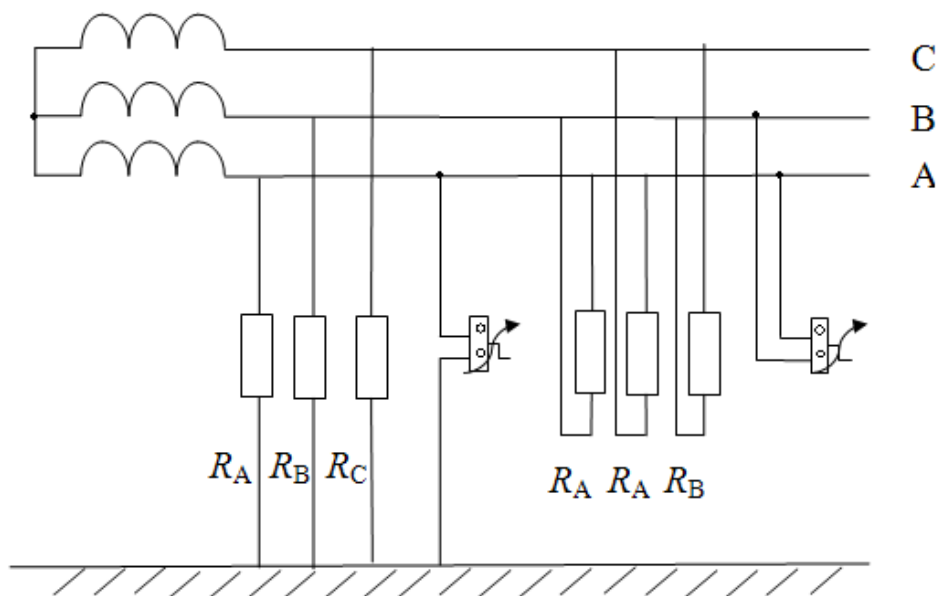
Достоинства периодического контроля:

- возможность измерения конкретных величин сопротивления изоляции фаз и между фазами;

- после сравнения измеренной величины сопротивления изоляции с минимально допустимым (табл. 1) делается вывод о возможности эксплуатации электроустановки.

Недостатки периодического контроля:

- необходимость отключения электроустановок от сети перед началом замера;
- возможность эксплуатации электроустановок в течение некоторого времени с пониженным сопротивлением изоляции;
- измеренное сопротивление изоляции только отдельных участков сети. А это не может служить критерием безопасности всей сети.



**Рис.3. Схема измерения сопротивления изоляции мегомметром:**  
 $R_A, R_B, R_C$  – сопротивления изоляции фаз A, B и C;  $R_{AB}, R_{AC}, R_{BC}$  – межфазные сопротивления изоляции между фаз AB, AC и BC, соответственно.

## 2.4. Постоянный контроль изоляции

Постоянный контроль изоляции нашел широкое применение в электросетях и изолированной нейтралью и представляет собой контроль сопротивления изоляции под рабочим напряжением в течение всего времени работы электроустановок без отключения от сети.

Постоянный контроль позволяет:

- выявить повреждения, дефекты, не обнаруженные во время периодических испытаний;
- предотвратить искрообразование в местах плохих контактов, которое может привести к пожару, взрыву или электротравме;
- в сетях с изолированной нейтралью предотвращается возможность опасных замыканий на землю.

Устройство постоянного контроля изоляции предусматривается лишь в сети с изолированной нейтралью до 1000В.

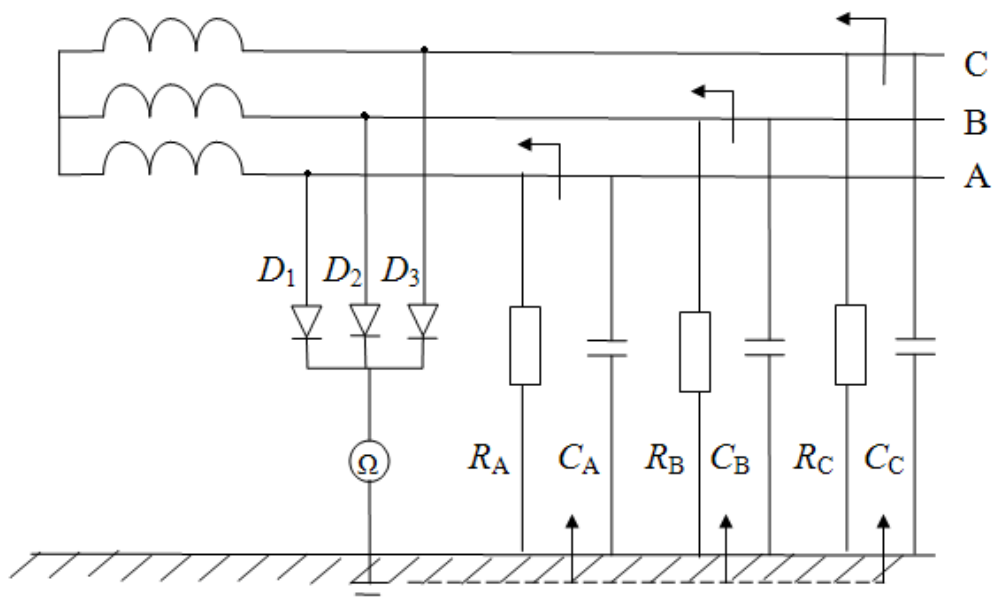


Наиболее широкое применение для постоянного контроля нашли схемы:

- 3-х вентиляй;
- 3-х вольтметров.

## 2.5. Схема трех вентиляй

Вентильные схемы контроля изоляции измеряют сопротивление изоляции выпрямленным током. На рис.4 показана простейшая вентильная схема – схема трех вентиляй.



**Рис. 4.Схема трех вентиляй:**  
Ω - прибор измерения сопротивления

При положительной полуволне напряжения в фазе А ток проходит через вентиль D1, указатель Ω, заземлитель и сопротивления изоляции двух других фаз к источнику. Полярность фаз изменяется, и поэтому постоянный ток проходит поочередно через вентили D1, D2 и D3, через указатель Ω и сопротивление изоляции.

Указатель Ω представляет собой магнитоэлектрический прибор, через который проходит ток, выпрямленный тремя вентилями. Среднее значение этого тока зависит от общего сопротивления R, определяемого по формуле 3:

$$R = \frac{R_A R_B R_C}{R_A R_B + R_B R_C + R_A R_C}, \text{ Ом} \quad (3)$$

При замыкании на землю указатель отключается и стрелка показывает ∞, как исправную изоляцию. Указатель градуируется в КОм. Последовательно с указателем может быть включено реле, замыкающее сигнальную цепь при недопустимо низком сопротивлении (включается световой или звуковой сигнал).

Из схемы (рисунок 4) следует, что указатель показывает общее сопротивление изоляции всей сети, включая источник и потребители тока. Полученное таким образом сопротивление изоляции позволяет судить о степени безопасности эксплуатации данной сети.

Нормы, приведенные в ПТЭ, не могут служить в данном случае критерием исправности изоляции, так как они заданы не для всей сети, а только для отдельных участков.

Судить об исправности или о появлении дефектов изоляции по результатам можно лишь путем сопоставления с данными предыдущих измерений. Если результаты ряда измерений совпадают, то изоляция исправна. Если же обнаружено резкое снижение сопротивления изоляции по сравнению с данными предыдущих измерений, это указывает на наличие дефектов изоляции.

Достоинства схемы:

- возможность измерения общего сопротивления изоляции всей сети;
- возможность определения уменьшения сопротивления изоляции всей сети.

Недостатки схемы:

- не осуществляет самоконтроль, так как при неисправности внутренних цепей прибор показывает  $\infty$ , т.е. неисправную изоляцию;
- точность измерения зависит от колебания напряжения в сети;
- невозможность определения при уменьшении показаний прибора, какое происходит уменьшение сопротивления изоляции – одной фазы, двух или трех.

## 2.6. Схема трех вольтметров

Вольтметры включаются в звезду с заземленной нейтральной точкой. Каждый вольтметр показывает напряжение относительно земли той фазы, в которой он подключен.

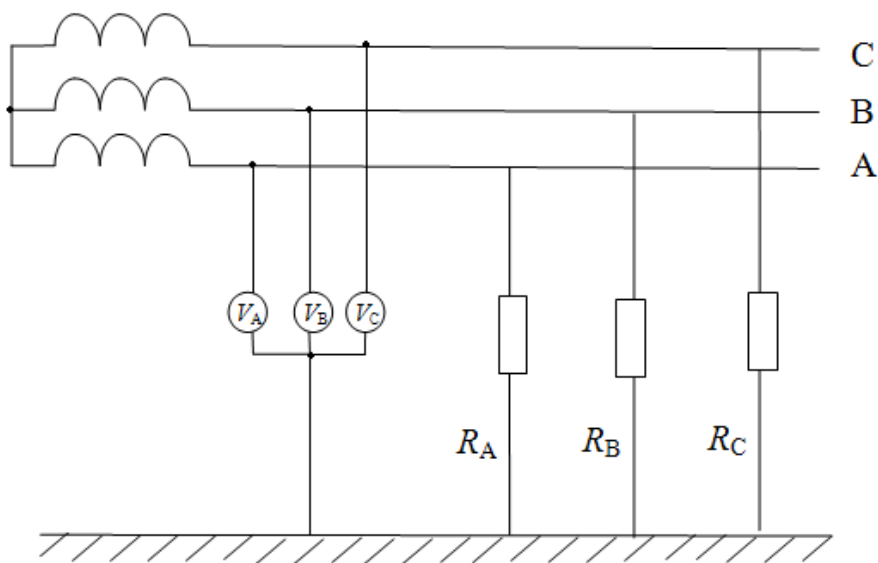


Рис. 5.Схема трех вольтметров

При исправной изоляции вольтметры показывают фазное напряжение. В случае глухого замыкания на землю один из них показывает ноль, а два других – линейное напряжение. По показаниям вольтметров можно судить лишь о наличии или отсутствии замыкания на землю, а не о значении сопротивления изоляции. При симметричном снижении изоляции вплоть до короткого замыкания вольтметры исправно будут показывать фазное напряжение. Ухудшение сопротивления одной из фаз приводит к снижению показаний соответствующего вольтметра и к увеличению показаний вольтметров других фаз.

Таким образом, схема трех вольтметров не измеряет сопротивление изоляции и согласно определению, данному в начале, не осуществляет контроль изоляции, а только обнаруживает замыкания на землю.

Схема осуществляет самоконтроль, так как неисправный вольтметр показывает ноль, а два других – фазное напряжение.

### 3. Описание лабораторной установки

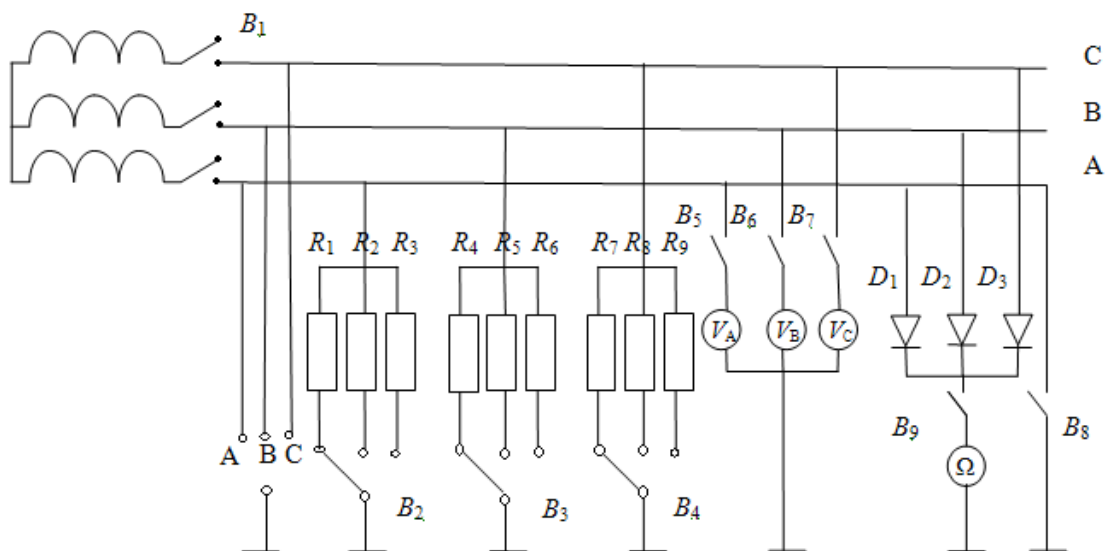


Рис. 6. Схема лабораторного стенда

Работа выполняется на стенде, схема которого приведена на его передней панели. Установка содержит тумблер В1 – для подключения к питающей сети, В5, В6, В7 – подключение вольтметров к фазам, В9 – подключение приборов, В8 – замыкание фазы А на землю, В2, В3, В4 – имитируют переменные сопротивления изоляции фаз (R<sub>A</sub>, R<sub>B</sub>, R<sub>C</sub>), позволяющие выполнять симметричное снижение изоляции – уменьшение сопротивления сразу всех трех фаз и несимметричное – уменьшение сопротивления только одной фазы.

Для выполнения периодического контроля применяется мегомметр М1101.

## 4. Техника безопасности

Включение напряжения и измерения производить только при разрешении преподавателя.

При измерении сопротивления изоляции мегомметром соблюдать следующие требования:

- а) подключение мегомметра к макету производить в обесточенном состоянии, для чего В1 отключить;
- б) запрещается прикосновение к клеммам мегомметра при вращении рукоятки, так как на его зажимах напряжение 500В. Это напряжение опасно для жизни.

## 5. Порядок выполнения работы

Задание к работе:

- На лабораторном стенде выполнить периодический и постоянный контроль изоляции.
- Данные замеров сравнить с допустимой величиной сопротивления изоляции (табл. 1).

5.1. Периодический контроль изоляции.

5.1.1. Подготовка стенда к работе:

- отключить стенд от сети;
- все тумблеры поставить в положение выключено;
- переключатели В2, В3, В4 поставить в положение R1, R4, R7, соответственно;

5.1.2. Сделать замеры фазных и межфазных сопротивлений изоляции.

Симметрично уменьшая сопротивление изоляции, т.е. переводя тумблеры В2, В3, В4 в положение R2, R5, R8, затем R3, R6, R9. Выполнить замеры сопротивлений.

5.1.3. Для одного из симметричных режимов изоляции выполнить пробой изоляции фазы А – включить тумблер В8, выполнить замеры сопротивлений. Отключить В8.

5.1.4. Переключатели В2, В3, В4 поставить в положение R1, R4, R7.

5.1.5. Выполнить несимметричное снижение изоляции одной фазы. Для этого переключатель В2 поставить в положение R2, выполнить замеры сопротивлений изоляции, затем перевести в положение R3 и выполнить замеры.

5.2. Схема трех вольтметров (постоянный контроль изоляции).

5.2.1. Подготовка стенда к работе:

- переключатели В2, В3, В4 поставить в положение R1, R4, R7;
- включить тумблеры В5, В6, В7;
- подключить стенд к сети.

5.2.2. Снять показания вольтметров.

Симметрично уменьшая сопротивление изоляции, снять показания приборов.

5.2.3. Для одного из симметричных режимов выполнить пробой фазы А на землю. Сделать замеры. Отключить В8.

5.2.4. Переключатели В2, В3, В4 поставить в положение R1, R4, R7.

5.2.5. Выполнить несимметричное снижение изоляции, сняв при этом показания вольтметров.

5.3. Схема трех вентилях (постоянный контроль изоляции).

5.3.1. Подготовка стенда к работе:

- отключить В5, В6, В7;
- включить В9;
- переключатели В2, В3, В4 поставить в положение R1, R4, R7.

5.3.2. Снять показания с прибора.

Симметрично уменьшая сопротивления изоляции, снять показания.

5.3.3. Для одного из симметричных режимов выполнить пробой фазы А на землю. Сделать замеры. Отключить В8.

5.3.4. Поставить переключатели В2, В3, В4 в положение R1, R4, R7.

5.3.5. Выполнить несимметричное снижение изоляции, сняв при этом показания.

5.4. Все тумблеры поставить в положение выключено. Отключить макет от сети. Данные замеров занести в табл. 2.

*Таблица 2*

Положение переключателей			Периодический контроль						Постоянный контроль			
В2	В3	В4	Показания мегомметра, КОм						Схема 3-х вольтметров			Схема 3-х вентилях
А	В	С	$R_A$	$R_B$	$R_C$	$R_{AB}$	$R_{BC}$	$R_{AC}$	$V_A$	$V_B$	$V_C$	$\Omega$

## 6. Указания к составлению отчета

- Название работы и ее исполнители.
- Цель работы.
- Таблица результатов.
- Выводы. Измеренные и нормированные сопротивления изоляции.
- Преимущества и недостатки схем контроля изоляции.

## 7. Вопросы для самопроверки

1. Что называется изоляцией?
2. Факторы, влияющие на снижение сопротивления изоляции.
3. Величина тока через человека в сети с изолированной нейтралью.
4. Величина тока через человека в сети с глухозаземленной нейтралью.
5. Виды и методы контроля изоляции электроустановок.
6. Достоинства и недостатки периодического контроля.
7. Достоинства и недостатки контроля по схеме трех вольтметров.

## **Лабораторная работа №4**

### **Напряжение шага и напряжение прикосновения**

Возможность поражения электрическим током — один из наиболее часто встречающихся опасных производственных факторов. Анализ смертельных несчастных случаев на производстве показывает, что на долю поражения электрическим током приходится до 40%, а в энергетике - до 60% от общего числа несчастных случаев. Поэтому задача обеспечения электробезопасности занимает ведущее место в проблематике раздела "Охрана труда" курсов "Безопасность жизнедеятельности" и «Производственная безопасность».

Во всех случаях контакта человека с частями оборудования, нормально или случайно находящимися под напряжением, человек оказывается под "напряжением прикосновения", под которым понимается разность потенциалов между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек.

Если человек находится на грунте вблизи заземлителя, с которого стекает ток, то он может оказаться под "напряжением шага", под которым понимается разность потенциалов между двумя точками цепи тока, находящимися на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек.

## **1. Цель работы**

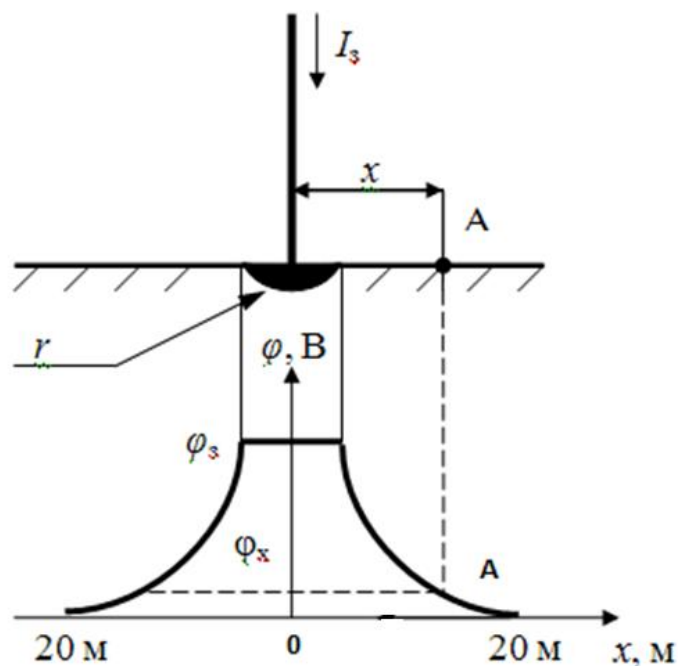
Исследовать опасность поражения электрическим током в случае, если человек окажется под напряжением прикосновения или напряжением шага.

## **2. Теоретическая часть**

### **2.1. Явления при стекании тока в землю**

Электрическим замыканием на землю называется случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки непосредственно с землей или с металлическими нетоковедущими частями, имеющими контакт с землей. Замыкание на землю может произойти при замыкании токоведущих частей на корпус или при пробое изоляции, при падении провода на землю. Стеkanie тока на землю сопровождается появлением потенциала на поверхности грунта вокруг электрода, который осуществляет связь с землей, что представляет собой опасность для жизни человека.

Рассмотрим стекание тока в землю через одиночный электрод полусферической формы и характер распределения потенциала на поверхности земли.



**Рис. 1. Распределение потенциала на поверхности земли вокруг полусферического заземлителя:**

$I_3$  - ток, стекающий на землю;  $r$  - радиус заземлителя;  $\varphi_3$  - потенциал заземлителя;  $\varphi_x$  - потенциал в точке А, находящейся на расстоянии  $x$  от точки замыкания на земле

Ток на земле будет растекаться во все стороны по радиусам полушара. В объеме земли, где проходит ток, возникает "поле растекания тока", которое характеризуется наличием потенциала грунта в любой точке, то есть в пределах поля растекания тока потенциал земли отличен от нуля. Теоретически оно простирается бесконечно. Однако, в реальных условиях уже на расстоянии 20 м от заземлителя площадь полусферы, по которой растекается ток, становится столь большой, что сопротивление земли можно считать близким к нулю. Следовательно, и потенциал земли на расстоянии 20 м практически равен нулю.

Потенциал заземлителя определяется выражением:

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3, B, \quad (1)$$

где  $R_p$  -сопротивление заземлителя растеканию тока, которое определяется как суммарное сопротивление самого электрода, переходного сопротивления от электрода к грунту и сопротивления грунта от заземлителя до точки с нулевым потенциалом.

Для полусферического заземлителя

$$R_3 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot r}, Ом, \quad (2)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление грунта, Ом·м.

Удельное сопротивление грунта - это сопротивление одного кубометра грунта с ребром в 1 метр.

Тогда формула (1) принимает вид

$$\varphi_3 = I_3 \cdot \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (3)$$

Потенциал в точке А на расстоянии  $x$  определяется:

$$\varphi_x = I_3 \cdot \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot x} \quad (4)$$

С учетом формулы 3 получаем

$$\varphi_x = \varphi_3 \cdot \frac{r}{x} \quad (5)$$

Потенциал в грунте убывает по гиперболическому закону с увеличением расстояния от заземлителя за счет сопротивления грунта. При расстоянии более 20 м от места стекания тока в землю  $\varphi_x \rightarrow 0$ .

## 2.2. Напряжение шага

Человек, находящийся в поле растекания тока заземлителя оказывается под напряжением шага, если его ноги находятся в точках с разными потенциалами.

Пусть человек находится на расстоянии  $x$  от заземлителя, а длина шага равна  $a$  (рис. 2).

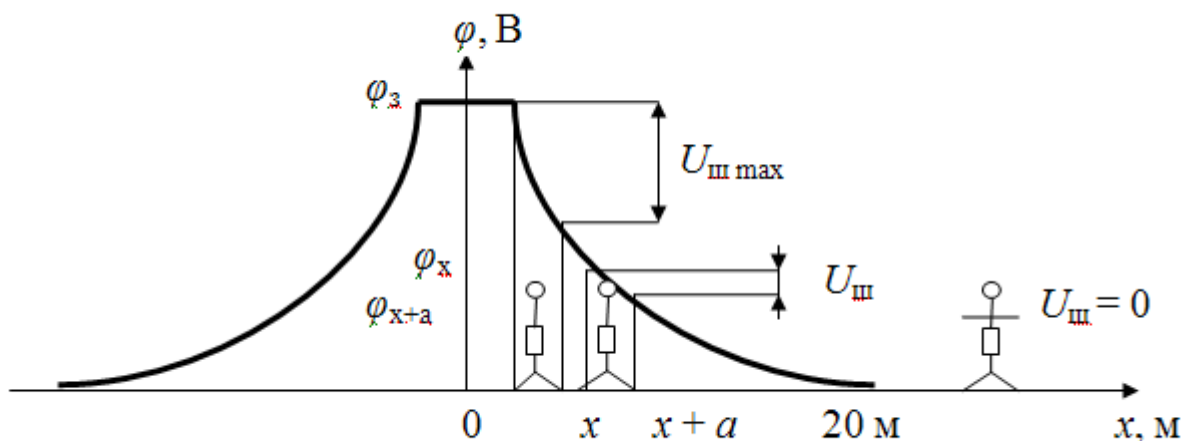


Рис. 2. Напряжение шага

Тогда напряжение шага определяется как разность потенциалов между правой и левой ногами, находящимися в точках с координатами  $(x)$  и  $(x + a)$ .

$$U_{ш} = \varphi_x - \varphi_{x+a} \quad (6)$$

Потенциал этих точек определяется как



$$\varphi_x = \varphi_3 \cdot \frac{r}{x} \quad (7)$$

$$\varphi_{x+a} = \varphi_3 \cdot \frac{r}{x+a} \quad (8)$$

Отсюда напряжение шага

$$U_{ш} = \varphi_3 \cdot r \left( \frac{1}{x} - \frac{1}{x+a} \right) = \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{a}{x \cdot (x+a)} \quad (9)$$

При  $x \rightarrow \infty$  (Практически при  $x \geq 20$  м) напряжение шага равно нулю,  $U_{ш} = 0$ . Этот же результат можно получить, если ступни ног человека находятся рядом друг с другом ( $a = 0$ ), то есть  $\varphi_x = \varphi_{x+a}$ , отсюда  $U_{ш} = 0$ .

Максимальное значение напряжения шага получается при  $x = r$  и составляет

$$U_{шmax} = \varphi_3 \cdot \frac{a}{r+a} \quad (10)$$

Таким образом, напряжение шага зависит от расстояния, на котором находится человек от заземлителя, и от ширины шага. Максимальное значение напряжения шага зависит от радиуса заземлителя и величины шага.

### 2.3. Напряжение прикосновения

Рассмотрим напряжение прикосновения для человека, который стоит на грунте и касается оказавшегося под напряжением заземленного корпуса. На рис.3 показаны три электроустановки, находящиеся на разном расстоянии от заземлителя. Корпуса всех электроустановок соединены с одним заземлителем. На второй электроустановке произошел пробой изоляции и провод касается корпуса. Протекает ток замыкания на землю  $I_3$ . Сопротивление заземлителя  $R_3$ .

Напряжение прикосновения  $U_{пр}$  может быть определено как разность потенциалов руки ( $\varphi_{рук}$ ) и ног ( $\varphi_{ног}$ ):

$$U_{пр} = \varphi_{рук} - \varphi_{ног} \quad (11)$$

Человек касается корпуса, потенциал руки  $\varphi_{рук}$  равен потенциалу корпуса  $\varphi_к$ , который равен потенциалу заземлителя  $\varphi_3$ , т.к. сопротивлениями металлического корпуса, проводов и самого заземлителя можно пренебречь:

$$\varphi_{рук} = \varphi_к = I_3 \cdot R_3 \quad (12)$$

Потенциал ног  $\varphi_{ног}$  равен потенциалу основания земли в точке:

$$\varphi_{ног} = \varphi_{осн} = \varphi_3 = \varphi_3 \cdot \frac{r}{x} \quad (13)$$

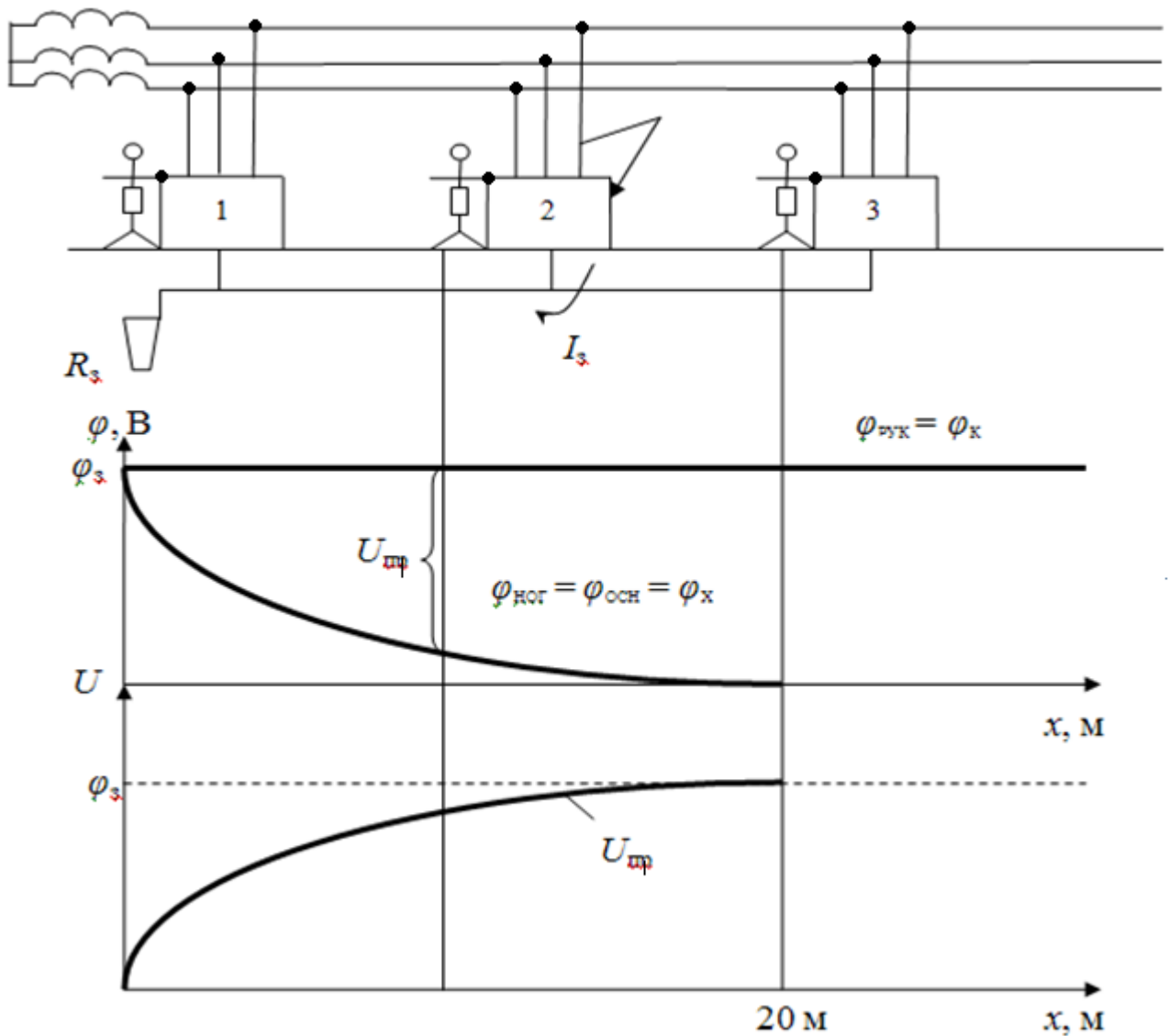


Рис. 3. Напряжение прикосновения

Тогда напряжение прикосновения

$$U_{\text{кп}} = \varphi_3 - \varphi_3 \cdot \frac{r}{x} = \varphi_3 \cdot \left(1 - \frac{r}{x}\right) \quad (14)$$

Рассмотрим, как изменяется напряжение прикосновения в зависимости от расстояния до заземлителя:

- электроустановка 1

человек стоит непосредственно над заземлителем ( $x = r$ )

$$\varphi_{\text{руж}} = \varphi_3; \quad \varphi_{\text{ног}} = \varphi_3; \quad U_{\text{кп}} = 0.$$

- электроустановка 2

человек находится на расстоянии  $X$  от заземлителя

$$\varphi_{рук} = \varphi_3; \quad \varphi_{ног} = \varphi_3 \frac{r}{x}; \quad U_{пр} = \varphi_3 \left(1 - \frac{r}{x}\right)$$

- электроустановка 3

человек находится на расстоянии 20 м от заземлителя

$$\varphi_{рук} = \varphi_3; \quad \varphi_{ног} = 0; \quad U_{пр} = \varphi_3.$$

Графически это отображено на рис. 3.

Таким образом, наиболее безопасным является прикосновение к корпусу первой электроустановки. Поэтому для уменьшения напряжения прикосновения в случае пробоя на корпус заземлитель необходимо располагать как можно ближе к электроустановке.

### 3. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд предназначен для изучения напряжения шага и напряжения прикосновения. Стенд включает в себя выключатели: В1 - подключение стенда к сети, В2 - замыкание на полусферический заземлитель для измерения потенциала земли, В3 - замыкание на корпус электроустановки для измерения тока замыкания; вольтметр - для измерения потенциала земли; амперметр - для измерения тока замыкания;  $R_3$  - сопротивление заземлителя,  $R_3 = 4 \text{ Ом}$

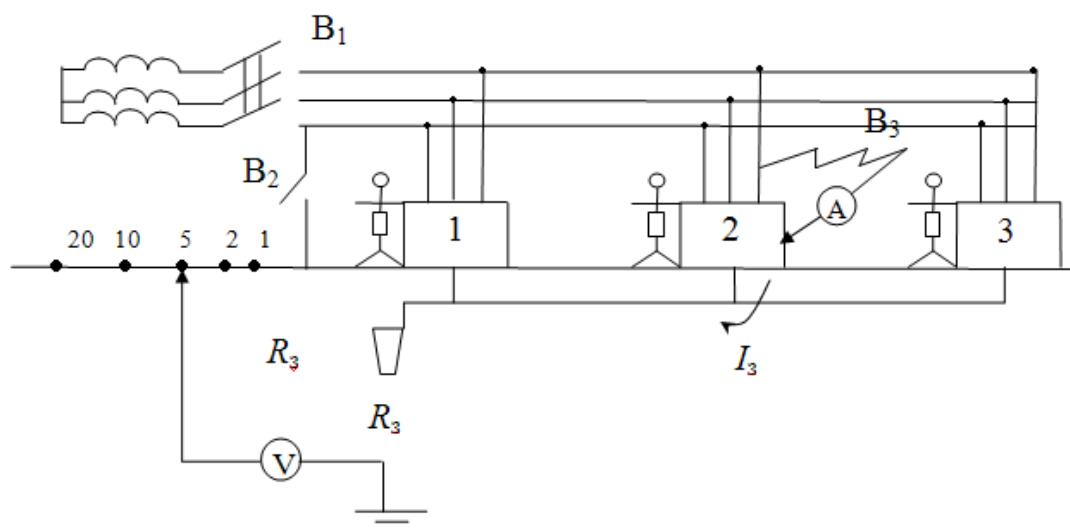


Рис. 4. Схема лабораторного стенда

## 4. Техника безопасности

При выполнении данной лабораторной работы необходимо выполнять требования по охране труда общие для лабораторий (инструкция №8). К стенду подведено напряжение 24 В. Включить стенд можно только с разрешения преподавателя. При наличии неисправностей стенд отключить от сети и поставить в известность преподавателя.

## 5. Задание к работе

3.1. На лабораторном стенде измерить потенциалы на поверхности земли на различном расстоянии от заземлителя, построить график  $\varphi = f(x)$  и графически определить напряжение шага в заданных точках (см. табл. 6.1)

3.2. На основе замеров тока замыкания и потенциала земли построить график  $U_{np} = f(x)$ .

## 6. Порядок выполнения работы

6.1. Напряжение шага.

- подключить стенд к сети, включить В1;
  - замкнуть фазу А на полусферический заземлитель для появления потенциала на поверхности грунта, включить В2;
- с помощью вольтметра замерить потенциал на заземлителе и потенциалы в точках на расстоянии от заземлителя 1 м, 2 м, 5 м, 10 м, 20 м; результаты замеров записать в таблицу 6.1;
- отключить В2;
- построить график  $\varphi_x = f(x)$ , приняв радиус заземлителя  $r = 0$  (см. рис. 2.);
- по графику определить напряжение шага в точках  $x = 0$ ,  $x = 5$  м,  $x = 20$  м. Принять величину шага  $a = 1$  м.

Таблица 6.1

Расстояние от заземлителя $X$ , м	0	1	2	5	10	20
Величина потенциала $\varphi$ , В						
Напряжение шага $U_{ш}$ , В		—	—		—	

Сделать выводы: о зависимости величины потенциала на поверхности земли от расстояния до заземлителя, зависимости напряжения шага от расстояния до заземлителя и от величины самого шага.

## 6.2. Напряжение прикосновения

- замкнуть фазу А на корпус второй электроустановки, включить ВЗ;
- с помощью амперметра замерить ток замыкания на землю;
- с помощью вольтметра измерить потенциал основания земли около электроустановок 1, 2 и 3;
- результаты замеров занести в таблицу 6.2, приняв  $R_3 = 4 \text{ Ом}$ ;
- рассчитать потенциал на корпусе по формуле (12);
- рассчитать напряжение прикосновения по формуле (11);
- построить графики  $\varphi_k = f(x)$ ;  $\varphi_{осн} = f(x)$ ;  $U_{пр} = f(x)$ , см рис. 3.

Таблица 6.2

Параметры	Электроустановка		
	1	2	3
Расстояние до заземлителя $x$ , м $X$ , м	0	10	20
Ток замыкания на землю $I_3$ , А	—		
Потенциал на корпусе $\varphi_k$ , В			
Потенциал основания $\varphi_{осн}$ , В			
Напряжение прикосновения $U_{пр}$ , В			

Сделать вывод, оценив безопасность прикосновения к корпусу электроустановки, оказавшемуся под напряжением.

Отчет должен содержать:

- цель работы: определение понятий  $U_{ш}$  и  $U_{пр}$
- полученные результаты в виде 2-х таблиц;
- графики зависимости  $\varphi_x = f(x)$ ,  $U_{рук} = f(x)$ ,  $\varphi_{осн} = f(x)$ ,  $U_{пр} = f(x)$ .
- выводы (меры защиты от напряжения шага и прикосновения).

## 7. Вопросы для самопроверки

1. В каком случае на поверхности земли появляется потенциал?
2. От каких факторов зависит величина этого потенциала?
3. Что такое напряжение шага?
4. Чем определяется величина напряжения шага?
5. Меры защиты от напряжения шага.
6. Что такое напряжение прикосновения?
7. Как зависит напряжение прикосновения от расстояния электроустановки до заземлителя?

8. Меры защиты от напряжения прикосновения.
9. Как ориентироваться и перемещаться в зоне растекания тока?

# Лабораторная работа №5

## Оборудование пожарной сигнализации

### 1. Цель работы

Изучение устройства систем пожарной сигнализации, оборудования пожарной сигнализации, принципов действия пожарных извещателей и их технических характеристик.

### 2. Теоретическая часть

Пожарная сигнализация предназначена для своевременного обнаружения места возгорания и формирования управляющих сигналов для включения:

- системы оповещения о пожаре;
- систем пожаротушения;
- систем дымоудаления и подпора воздуха;
- отключения вентиляции;
- опускания лифтов на этажи эвакуации и блокирования их на этих этажах и т.д.

Технические средства пожарной сигнализации условно разделяют на группы по выполняемым функциям: пожарные извещатели, пожарные приборы приемно-контрольные и управления, пожарные оповещатели. Конструктивно технические средства пожарной сигнализации могут быть выполнены в виде блоков, совмещающих в себе функции нескольких устройств, например, приемно-контрольного прибора, прибора управления и источника бесперебойного питания, или в виде отдельных блоков, соединенных линиями связи и рассредоточенных в пространстве.

Проектирование и монтаж современных систем пожарной сигнализации должны удовлетворять требованиям, изложенным в ряде нормативных документов, среди которых основополагающими являются нормы пожарной безопасности НПБ 88-2001\* «Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования».

Единственным устройством обнаружения пожара на сегодняшний день остается пожарный извещатель. От того, насколько грамотно выбран тип извещателя и место его установки, насколько качественно он сделан, зависит эффективность всей системы пожарной сигнализации, а, следовательно, жизнь и здоровье людей, сохранность имущества.

**По виду контролируемого признака пожара** пожарные извещатели подразделяют на следующие группы: тепловые, дымовые, пламени, газовые и комбинированные.

**Тепловые извещатели** являются средствами обнаружения конвективного тепла от очага пожара и реагируют на повышение температуры окружающей среды. Технические требования, предъявляемые к тепловым извещателям, изложены в НПБ 85-2000.

**Дымовые извещатели** являются средствами обнаружения аэрозольных продуктов термического разложения и реагируют на частицы твердых или жидких продуктов горения или пиролиза в атмосфере. На начальной стадии пожара в результате процесса медленного горения выделяется большое количество дыма, представляющего собой совокупность твердых частиц, взвешенных в воздухе или другой газообразной среде. Дымовые извещатели построены, исходя из двух принципов обнаружения дыма: оптического и ионизационного. Принцип действия ионизационных (радиоизотопных) извещателей основан на изменении электрических параметров радиоизотопной камеры. Эта камера является чувствительным элементом дымового извещателя и определяет его основные характеристики. Принцип действия оптических (оптико-электронных) извещателей основан на контроле оптической плотности среды. Контролируя оптические свойства среды, дым можно обнаружить двумя способами: по ослаблению первичного светового потока (за счет уменьшения прозрачности окружающей среды) и по интенсивности отраженного (рассеянного) светового потока частицами, из которых состоит дым. Технические требования на дымовые оптические извещатели изложены в НПБ 65-97, на дымовые ионизационные- в НПБ 81-99, на дымовые линейные- в НПБ 82-99.

**Пожарные извещатели пламени** являются средствами обнаружения оптического излучения пламени очага пожара и реагируют на электромагнитное излучение пламени и тлеющего очага пожара. Горящие материалы, пламя которых имеет относительно низкую температуру и, как правило окрашено в красный цвет, активно излучают сигнал в ИК диапазоне. Высокотемпературное пламя имеет большую интенсивность излучения в УФ диапазоне. В зависимости от диапазона длин волн регистрируемого излучения, извещатели подразделяют на извещатели пламени ИК диапазона и УФ диапазона. Основным ограничением применения извещателей пламени является наличие искусственных и естественных помех, способных вызвать срабатывание извещателя без наличия пламени. Высокий уровень электромагнитного излучения создается источниками искусственного освещения, солнечным светом, нагретыми телами (радиаторами, работающими двигателями), сварочными работами, отражением излучения зеркальными поверхностями и т.д. Технические требования, предъявляемые к извещателям пламени, изложены в НПБ 72-98.

**Газовые извещатели** являются средствами обнаружения невидимых газообразных продуктов термического разложения и реагируют на газы, выделяющиеся при тлении или горении материалов. Наиболее распространенные горючие вещества и материалы обращающиеся как в производстве, так и в быту представляют собой органические соединения. Основными газами, образующимися при сгорании таких горючих веществ, являются углекислый газ  $CO_2$  и угарный газ  $CO$ .

Известным в технике чувствительным элементом, регистрирующим наличие в атмосфере повышенного содержания неокисленных газов, например, угарного газа, является так называемый датчик Тагучи. При попадании угарного газа на поверхность датчика, происходит его доокисление, датчик меняет свою



электрическую характеристику, что является сигналом к срабатыванию ПИ. В то же время датчик Тагучи регистрирует не только угарный газ, но и многие другие недоокисленные газы, то есть обладает низкой селективностью. Данное обстоятельство приводит к ложным срабатываниям газовых ПИ, реагирующих на распространяющиеся в окружающей среде газы, не связанные с возгоранием, что препятствует эффективному использованию газовых извещателей, выполненных на основе датчиков Тагучи. Технические требования, предъявляемые к газовым извещателям, изложены в НПБ 71-98.

**Комбинированные извещатели** совмещают контроль нескольких факторов пожара одновременно и бывают теплодымовыми, светодымовыми, теплосветовыми. Наибольшее распространение получили теплодымовые извещатели, в которых сигнал тревоги формируется при срабатывании либо дымового канала, либо теплового. Комбинированные извещатели обеспечивают более надежное обнаружение пожара, однако при их применении следует учитывать, что зона защиты рассчитывается по одному признаку пожара, а второй признак является дополнительным.

### **Принципы выбора пожарных извещателей**

Для эффективного функционирования системы пожарной сигнализации очень важно наиболее **оптимально подобрать типы применяемых извещателей**. Они должны решать три основные задачи: обеспечивать своевременность обнаружения пожара, не давать ложных срабатываний и надежно работать при длительной эксплуатации.

Выбор извещателей должен начинаться с определения наиболее вероятных первичных признаков пожара в случае его возникновения в защищаемом помещении (НПБ 88-2001).

Как показывает практика, **тепловые извещатели** следует применять в помещениях обычной высоты и относительно небольшого объема, если в зоне контроля в случае возникновения пожара на его начальной стадии предполагается значительное тепловыделение. При высоте потолка не менее 8-9 м использование тепловых извещателей нецелесообразно из-за неэффективности регистрации очага пожара.

**Дымовые извещатели** следует применять в помещениях, где возможное возгорание будет сопровождаться обильным выделением дыма (помещения, где много таких материалов как бумага, дерево, текстиль, пластик, резинотехнические изделия, полимерно-минеральные материалы, кабельная продукция).

Следует заметить, что для подавляющего большинства пожаров задымление на ранней стадии развития очага пожара - характерный признак. Поэтому на сегодняшний день дымовые извещатели являются наиболее широко применяемыми периферийными устройствами систем пожарной сигнализации.

**Пожарные извещатели пламени** следует применять, если в зоне контроля в случае возникновения пожара на его начальной стадии предполагается появление открытого пламени. Пожарные извещатели пламени получили

наибольшее распространение применительно к отрасли промышленности, где обращаются взрывчатые материалы, легковоспламеняющиеся жидкости и горючие газы. Основными преимуществами извещателей пламени, по сравнению с тепловыми и дымовыми, являются повышенное быстродействие, независимость времени срабатывания от направления воздушных потоков в защищаемом помещении, перепадов температур, высоты потолка и перекрытий, объема и конфигурации помещений.

**Газовые пожарные извещатели** рекомендуется применять, если в зоне контроля в случае возникновения пожара на его начальной стадии предполагается выделение определенного вида газа в концентрациях, которые могут вызвать срабатывание извещателей. Газовые пожарные извещатели не следует применять в помещениях, в которых в отсутствие пожара могут появиться газы в концентрациях, вызывающих срабатывание извещателей.

В том случае, когда в зоне контроля доминирующий фактор пожара не определен, рекомендуется применять комбинацию пожарных извещателей, реагирующих на различные факторы пожара, или комбинированные пожарные извещатели.

Технические характеристики пожарных извещателей приведены в таблице.

*Таблица 1*

**Основные технические характеристики пожарных извещателей**

Модель	Принцип действия	Порог срабатывания, °С	Инерционность срабатывания, с	Питание, В/мА	Диапазон рабочих температур, °С
<b>Тепловые ПИ</b>					
ИП 101-1А	Тепловой мгновенный	50...100	60	10...25/ 0,05	-30...+100
ИП 101-2	Тепловой макс. диф.	54...56	60	24/ 0,3	-40...+70
ИП 103-2	Тепловой мгновенный	54...78	80...100	22...65/ 1	-40...+50
ИП 103-4/1	Тепловой мгновенный	60...70	120	12...30/ 150	-30...+50
ИП 103-5/1	Тепловой максимальный	70...75	120	30/ 150	-50...+50
ИП 105	Тепловой максимальный	60...70	120	12...30/ 0,03	-50...+50
<b>Дымовые ПИ</b>					
ДИП-3	Дымовой оптический	0,05...0,5 дБ/м	5	24/ 0,5	-30...+70
ДИП-34а	Дымовой оптический	0,05...0,2 дБ/м	10	8...28/ 0,6	-10...+50
ИП-212-41М	Дымовой оптический	0,05...0,2 дБ/м	5	9...28/ 0,5	-10...+50
ИП-212-5М	Дымовой оптический	0,05...0,2 дБ/м	5	16...24/ 0,5	-30...+60

ИП-212-34 (ДИПЗ4)	Дымовой оптический	0,05...0,2 дБ/м	10	12...28/ 0,12	0...+50
<b>Ручные ПИ</b>					
ИПР	Поворот ручки	-	-	18...24/ 18	-50...+50
ИПР-К	Нажатие на пластину	-	-	18...24/ 18	-40...+55
ИПР-ЗСУ	Нажатие на кнопку	-	-	19...28/ 30	-40...+60
ИПР-АС-05	Нажатие на кнопку	-	-	16...28/ 0,4	-50...+50

### **Приемные станции**

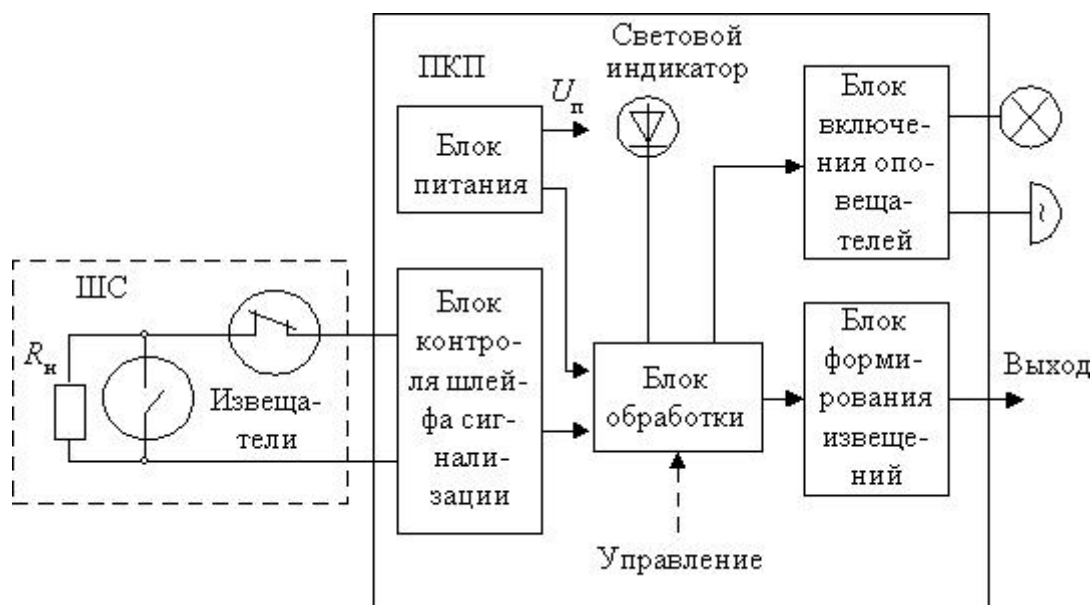
Приемно-контрольные приборы выполняют следующие функции:

- прием и обработка сигналов от извещателей;
- электропитание извещателей по проводному шлейфу пожарной сигнализации или отдельной линии;
- формирование извещаний «Пожар» и «Неисправность»;
- передача сигнала на пункт централизованного наблюдения;
- формирование сигнала включения систем пожаротушения и дымоудаления;
- управление звуковыми и световыми сигналами оповещателей.

Основные характеристики приемно-контрольных приборов – информационная емкость и информативность. Приёмно-контрольные приборы большой информационной емкости могут использоваться для объединения сигнализации большого количества помещений одного объекта, а также в качестве пультов для автономных систем защиты объектов.

Обобщенная функциональная схема приёмно-контрольного прибора малой информационной емкости представлена на (рис.1).

Шлейф сигнализации с установленными в нем извещателями подключается к блоку контроля, который осуществляет его электропитание и анализ по нескольким параметрам, прежде всего амплитудным значениям контролируемых электрических сигналов, а также их временным характеристикам, позволяющим выделить сигнал при срабатывании из вещателя или нарушении нормального состояния шлейфа (его обрыв или короткое замыкание) и отличить его от возможного сигнала помехи.



**Рис. 1. Схема приемно-контрольного прибора малой информационной емкости**

Если контролируемые параметры шлейфа сигнализации превышают установленные пороговые значения, то на выходе блока контроля формируется нормируемый сигнал. Он поступает в блок обработки, в котором осуществляются логический анализ и формирование выходных сигналов, управляющих блоком включения оповещателей, а также блоком формирования извещений. Блок обработки определяет тактику «сдачи/снятия» объекта с охраны, режим включения светового и звукового оповещателей, параметры формируемых извещений.

Пожарная сигнализация в зависимости от схемы подключения извещателей со станцией может быть лучевой и шлейфовой (кольцевой).

При устройстве лучевой системы каждый извещатель соединен с приемной станцией двумя проводами, образующими как бы отдельный луч. При этом на каждом луче параллельно устанавливается 3-4 извещателя. При срабатывании любого из них на приемной станции будет известен номер луча, но не место установки извещателя.

Шлейфовая (кольцевая) система применяется обычно при установке ручных извещателей и предусматривает включение примерно 50 извещателей последовательно: на одну линию (шлейф). Каждый извещатель, имея определенный код, подавая сигнал на станцию, одновременно дает информацию о месте своего нахождения.

В зависимости от способа определения тревог в настоящее время можно выделить 3 основных типа станций пожарной сигнализации:

- неадресные;
- адресные;
- адресно-аналоговые.

Самые старые из них - неадресные. В шлейф сигнализации такого типа включаются обычные дымовые, тепловые и ручные извещатели. При срабатывании датчика его номер и помещение на станции не указываются,

иницируется только номер шлейфа. Источник сигнала определяется визуально по встроенному в извещатель светодиоду или выносному устройству индикации, что очень не удобно.

В адресных системах анализ состояния окружающей среды и формирование сигнала также производится самим датчиком, но в флейфе сигнализации реализуется протокол обмена, позволяющий определить, какой именно извещатель сработал. В каждом датчике или монтажном цоколе расположена схема установки адреса.

Таким образом, система определяет конкретное место формирования сигнала о пожаре, что повышает оперативность реагирования специальных служб.

Наиболее современные типы систем пожарной сигнализации – адресно-аналоговые. Этот тип систем является дорогим и в то же время самым надежным. Однако, несмотря на дороговизну оборудования, монтаж и последующее обслуживание адресно-аналоговых систем значительно дешевле, чем для неадресных или адресных систем.

Адресно-аналоговые системы являются центром сбора телеметрической информации, поступающей от извещателя. Так, для теплового извещателя станция постоянно контролирует температуру воздуха в месте его установки, для дымового – концентрацию дыма. По характеру изменения этих параметров именно пожарная сигнализация, а не извещатель, как в случае адресных систем, формирует сигнал о пожаре. Это позволяет существенно повысить достоверность определения очага возгорания.

### **Принципы выбора оборудования ОПС**

Выбор типа систем пожарной сигнализации зависит от нескольких составляющих:

- назначение объекта
- площадь объекта (количество помещений)
- нормы пожарной безопасности
- финансовая составляющая и пожелания заказчика.

**Назначение объекта.** В зависимости от назначения объекта определяется, какой тип и сколько пожарных извещателей будет использовано в здании. Рекомендации по выбору типа пожарных извещателей, в зависимости от назначения защищаемого помещения и вида пожарной нагрузки, даны в действующих нормах пожарной безопасности НПБ 88-2001\*.

**Площадь объекта.** Как правило, на крупных объектах – в торговых комплексах, высотных административных зданиях, промышленных предприятиях общей площадью более 50 тыс. кв. м устанавливаются самые дорогие и в то же время надежные типы систем пожарной сигнализации – адресно-аналоговые.

Для небольших площадей (не более 30-40 помещений) – в магазинах, кафе, небольших офисах, а также для средних и крупных бюджетных объектов, как правило применяются неадресные типы систем. Они являются достаточно

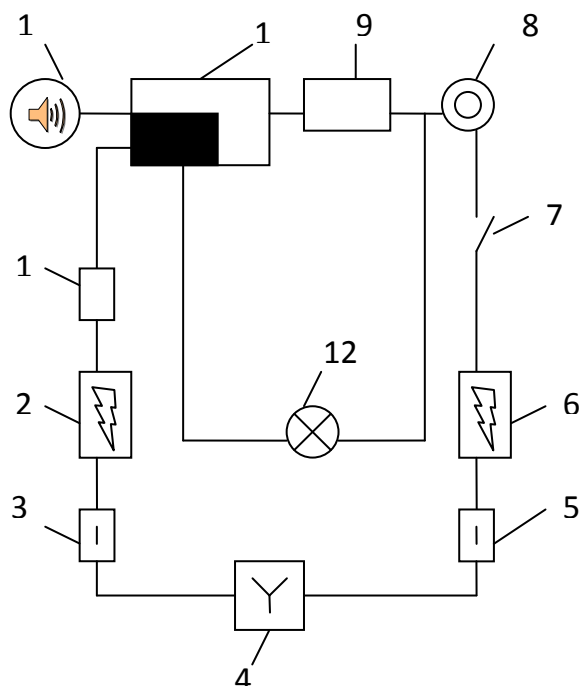
экономичным вариантом, но в то же время, не столь надежным. У неадресных систем очевидны многие недостатки: высокая вероятность ложных срабатываний, невозможность использования для крупных объектов, локализация сигнала с точностью до шлейфа и т.д. Однако, если заказчик не экономит на средствах пожарной безопасности, то идеальным вариантом, даже для небольшого объекта, все же остается адресно-аналоговый тип систем пожарной сигнализации.

В отличие от адресно-аналоговых, большую часть рынка неадресных систем составляет оборудование российских производителей (примерно 70%).

Что касается адресных систем – они используются реже остальных. Причина в том, что они заметно дороже неадресных систем, а по надежности раннего обнаружения возгорания мало чем от них отличаются. Адресные системы целесообразно применять только на небольших объектах.

### 3. Описание лабораторного стенда

Для изучения устройства пожарной сигнализации и принципов действия пожарных извещателей используется лабораторный стенд, включающий различные виды пожарных извещателей, приемную станцию и средства оповещения о пожаре. Схема лабораторного стенда приведена на рисунке 2.



**Рис. 2. Схема лабораторного стенда:**

1- устройство контроля шлейфа; 2, 6 -извещатель дымовой «ДИП-ЗСУ»; 3, 5 - извещатель тепловой «ИП-105, ИП-103-5/1»; 4 - извещатель пожарный ручной «ИПР-И»; 7 - выключатель для имитации обрыва шлейфа; 8 - электронный ключ; 9 - автоматический выключатель «АКБ»; 10 - приемная станция «ППКОП УОТС-1-1а»; 11 - оповещатель «МАЯК-12КПМ»; 12 - световое табло «Выход»

## **4. Порядок выполнения работы**

4.1. Включить автоматический выключатель. На приборе контрольном загорается лампочка «Сеть».

4.2. Электронным ключом включить лабораторный стенд. На приборе контрольном загорается лампочка «Охрана». Оповещатель «Маяк» не мигает.

При обрыве в цепи шлейфа (выключатель разомкнут) прибор контрольный показывает неисправность сигнализации – сигнальная лампа мигает.

Установить пожарную сигнализацию в состояние «Охрана».

4.3. Привести в действие извещатель пожарный ручной ИПР-И (открыть крышку и нажать на кнопку).

Убедиться в срабатывании сигнализации (звуковой прерывистый сигнал, включается световое табло «Выход»).

Электронным ключом выключить лабораторный стенд. Кнопку ИПР-И вернуть в исходное положение с помощью крючка с резьбой. Закрыть крышку ИПР-И.

4.4. Электронным ключом включить лабораторный стенд. Убедиться в том, что пожарная сигнализация находится в режиме «Охрана».

Подготовить источник тепла (специальный электропаяльник), включить в сеть и разогреть в течение 2-х минут. Нагретым наконечником прикоснуться к чувствительному элементу извещателя теплового ИП 103-5/1С/ Оценить время с момента касания до срабатывания сигнализации по часам в секундах. Отключить лабораторный стенд.

4.5. Подготовить тестер-имитатор дыма. Включить лабораторный стенд и оценить время срабатывания дымового извещателя ДИП-3СУ в секундах.

## **5. Указания к составлению отчета**

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема автоматической пожарной сигнализации.
3. Назначение и принцип действия пожарных извещателей.
4. Результаты эксперимента
5. Выводы по работе.

## **6. Вопросы для самопроверки**

1. Что входит в состав автоматической системы пожарной сигнализации?
2. Виды пожарных извещателей
3. Какие бывают схемы подключения пожарных извещателей с приемной станцией?
4. По каким признакам можно установить, что система пожарной сигнализации не исправна?
5. Основные технические характеристики пожарных извещателей?
6. Преимущества и недостатки различных типов пожарных извещателей?

# Лабораторная работа №6

## Защитное заземление

### 1. Цель работы

Получение практических навыков по расчету и устройству защитного заземления электрических установок (ЭУ).

### 2. Теоретическая часть

Защитным заземлением называется преднамеренное соединение металлических не токоведущих частей электрооборудования с землей посредством заземляющих устройств с целью обеспечения электробезопасности.

Заземляющее устройство состоит из заземлителей и заземляющих проводников. Заземлители выполняются из металлических электродов в виде стальных стержней, труб, уголков или полос, погруженных в землю или расположенных на поверхности грунта.

В качестве искусственных заземлителей обычно используются стальные стержни диаметром от 12 до 20 мм, трубы диаметром от 32 до 60 мм или уголки размером 40x40 мм, или 60x60 мм длиной от 2 до 10 метров.

Вертикальные заземлители, погруженные в грунт, соединяются стальной полосой, которая приваривается к каждому заземлителю.

В самих производственных помещениях прокладываются магистрали заземления из стальной полосы сечением 100-120 мм<sup>2</sup>, которая соединяется с защитным заземлением не менее, чем в 2-х местах при помощи сварки. Присоединение корпусов ЭУ к заземляющим проводникам выполняется также при помощи сварки или надежного болтового соединения.

Согласно “Правил устройств электроустановок” (ПУЭ) область применения защитного заземления следующая:

-во всех электроустановках при напряжениях 380 В и выше в сетях переменного тока и 440 В и выше в сетях постоянного тока.

-в производственных помещениях с повышенной электрической опасностью и в особо опасных II и III категориях, а также в наружных установках при напряжениях 42 В и выше в сетях переменного тока и 110 В и выше в сетях постоянного тока;

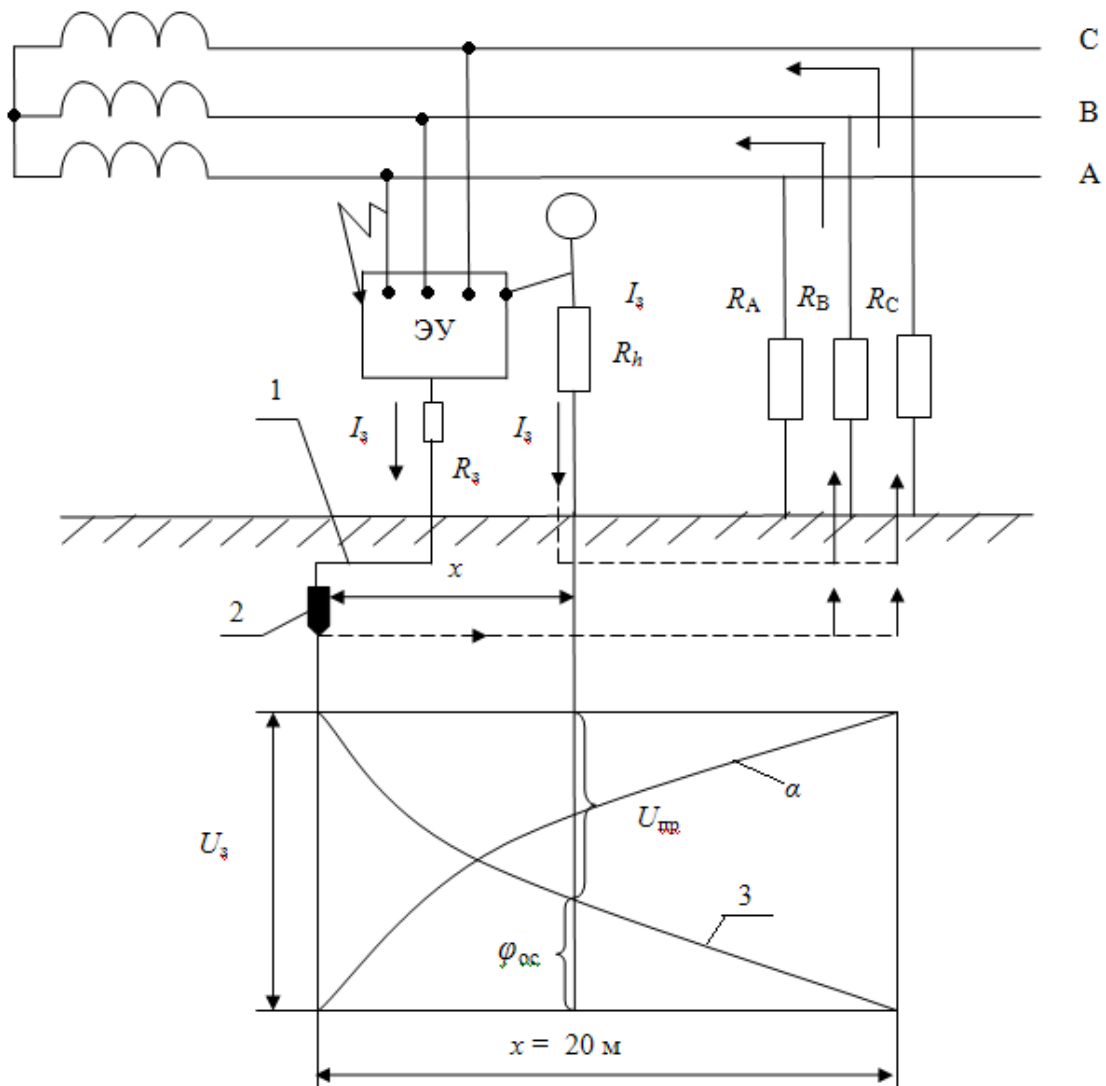
-в помещениях взрывоопасных категорий А, Б, а также в электросварочном оборудовании независимо от величины напряжений в сетях переменного или постоянного токов

Согласно ПУЭ защитное заземление следует применять в схемах с изолированной нейтралью в источнике питания. Сопротивление защитного заземления  $R_3$  в сетях напряжением до 1000 В не должно превышать 4 Ом, если мощность источников питания (генераторов, трансформаторов) более 100 кВА, если мощность источников питания равна или меньше 100 кВА сопротивление



$R_3$  не должно превышать 10 Ом. В сетях напряжением более 1000 В (например, на ЛЭП 110 кВ и выше) сопротивление  $R_3$  не должно превышать 0,5 Ом.

Принцип действия защитного заземления рассмотрен на примере электрической установки, включенной в 3-х фазную сеть с изолированной нейтралью, см.рис. 1.



**Рис. 1. Схема защитного заземления электроустановки (ЭУ):**

1 - заземляющий проводник; 2 - заземлитель стержневой; 3 - кривая растекания тока в земле;  $I_3$  - ток замыкания на заземлитель, А;  $R_3$  - сопротивление заземляющего устройства, Ом;  $I_h$  - ток, проходящий через человека, А;  $R_h$  - сопротивление человека (активное), Ом;  $U_{пр}$  - напряжение прикосновения, В;  $U_3$  - напряжение на заземлителе, В;  $\varphi_{ос}$  - потенциал основания в помещении;  $\alpha$  - коэффициент прикосновения, зависит от расстояния  $x$  между местом основания, на котором стоит человек и заземлителем и изменяется от 0 до 1;  $R_A, R_B, R_C$  - активные сопротивления изоляции фазных проводников, Ом

Если проводник фазы А замыкается на корпус электроустановки, имеющей защитное заземление и которой касается человек, то корпус ЭУ окажется под напряжением. Из корпуса электрический ток будет истекать в землю по двум

проводникам: через тело человека и защитное заземление. После растекания электрического тока в земле, как это показано на кривой 3 рис. 1, ток возвращается в нейтральную точку “N” электрической схемы, преодолевая сопротивление изоляции двух других фазных проводников Zв и Zс.

Принимаем  $R_A = R_B = R_C = R_{из}$ .

Наибольшая безопасность на ЭУ с защитным заземлением достигается в 3-х фазных электрических сетях с изолированной нейтралью. При этом величина тока через человека определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_\phi \cdot R_3 \cdot \alpha}{(R_3 + R_{из}/3) \cdot R_h}, \text{ А} \quad (1)$$

где  $U_\phi$  - фазное напряжение, В;

$R_3$  - сопротивление защитного заземления, Ом;

$\alpha$  – коэффициент прикосновения ( $\alpha = 0 \dots 1$ );

$R_{из}$  – активное сопротивление изоляции фазных проводников, по нормам ПУЭ должно быть не менее 0,5 или 10 МОм ( $5 \cdot 10^5$  или  $5 \cdot 10^7$  Ом) в зависимости от напряжения, вида оборудования и защиты;

$R_h$  - сопротивление человека, принимаемое в расчетах 1000 Ом.

Таким образом, для эффективной работы защитного заземления следует не только правильно рассчитать сопротивление  $R_3$  и определить число заземлителей, но и правильно расположить их относительно рабочих мест. Для этого в производственных помещениях применяется техническая мера защиты - выравнивание потенциала основания, при котором используется контурное заземление. Устанавливается сетка из вертикальных заземлителей и соединительных полос, подсоединенных к корпусам электроустановок. При замыкании фазы на корпус любой ЭУ на поверхности основания помещения образуется более или менее равный потенциал, близкий по своему значению к потенциалу замкнутого корпуса, т.е.  $\varphi_{ос} \simeq \varphi_к$ .

Подобная мера защиты приводит к снижению не только напряжения прикосновения  $U_{пр}$ , но и напряжение шага  $U_{ш}$ , т.к. разность потенциалов между двумя точками на основании будет равна нулю или сведена к минимуму.

В том случае, если производственное помещение расположено на скальном грунте с большим удельным сопротивлением или под помещением проложены разветвленные кабельные или трубопроводные трассы, что делает установку заземлителей внутри помещения технологически не возможной, применяется выносное заземление. В этом случае заземлители удаляются от производственного помещения до места, где грунт имеет наименьшее удельное сопротивление (глинистые, сырые почвы, в низинах) или создают его искусственно. Основным недостатком выносного заземления - снижение защитного свойства из-за увеличенного значения коэффициента прикосновения  $\alpha$ , так как при расстоянии  $x \geq 20$  метров  $\alpha = 1$ .

Поэтому защитное заземление выносного типа применяется при малых токах замыкания в установках до 1000 В.

### 3. Описание лабораторной установки

На стенде представлена схема измерения сопротивления вспомогательного электрода  $R_x$  с помощью прибора М-416, необходимого для определения удельного сопротивления грунта  $\rho$ , Ом·м.

Измерение  $R_x$  производится в следующем порядке. В начале следует убедиться в исправности самого прибора М-416, для чего на отключенном от сети приборе переключатель установить в положение “Контроль 5 Ом”.

Затем нажать на красную кнопку и ручкой “Реохорд” подвести стрелку индикатора в вертикальное положение. Показание прибора должно быть равным  $5 \pm 0,3$  Ом. После этого прибор подключить тремя проводниками в соответствующие гнезда на стенде, затем выполнить измерения  $R_x$ , переводя переключатель с положения “Контроль 5 Ом” в рабочее положение, при котором стрелка индикатора, после нажатия красной кнопки и вращением ручки “Реохорд” займет вертикальное положение.

Умножив показания прибора на соответствующий масштаб, получим искомую величину сопротивления вспомогательного электрода  $R_x$ .

### 4. Техника безопасности

Соблюдать правила техники безопасности на электроустановках и при пользовании приборами. Сообщать преподавателю обо всех неполадках в работе оборудования, не устраняя самостоятельно дефекты. Бережно относиться ко всему оборудованию в лаборатории.

### 5. Задание к работе

Выполнить расчет заземляющего устройства, для чего получить задание от преподавателя на схему расположения электродов защитного заземления в грунте из рис.2, схема а, б, в или г с размерами конструктивных параметров.

Нарисовать схему расположения электрода в грунте согласно заданию с конкретными размерами из рис.2.

В практической части выполнить расчет сопротивления защитного заземления, самостоятельно приняв решение о расположении их в ряд или по контуру. Сделать вывод по работе. Подготовиться и устно ответить на вопросы параграфа 7.

*Таблица 1*

**Размеры конструктивных параметров**

Схема а	Схема б	Схема в	Схема г - профиль
$d_1 = d = 0,012$ м	$d_1 = d = 0,04$ м	$d_1 = d = 0,04$ м	$l_1 = l = 3$ м
$l_1 = l = 5$ м	$l_1 = l = 3$ м	$l_1 = l = 3$ м	$b = 0,04$ м

$b = 0,04 \text{ м}$	$H_0 = 0,7 \text{ м}$	$b = 0,04 \text{ м}$	$H = 0,5 \text{ м}$
$H_{\text{пол}} = 0,5 \text{ м}$	$b = 0,04 \text{ м}$	$a = 2\ell$	$a = 2\ell$
$a = 2\ell$	$a = 2\ell$	$H_{\text{пол}} = 0,5 \text{ м}$	$H_{\text{пол}} = 0,5 \text{ м}$
	$H_{\text{пол}} = 0,9 \text{ м}$		
	$H = H_0 + \ell/2$		

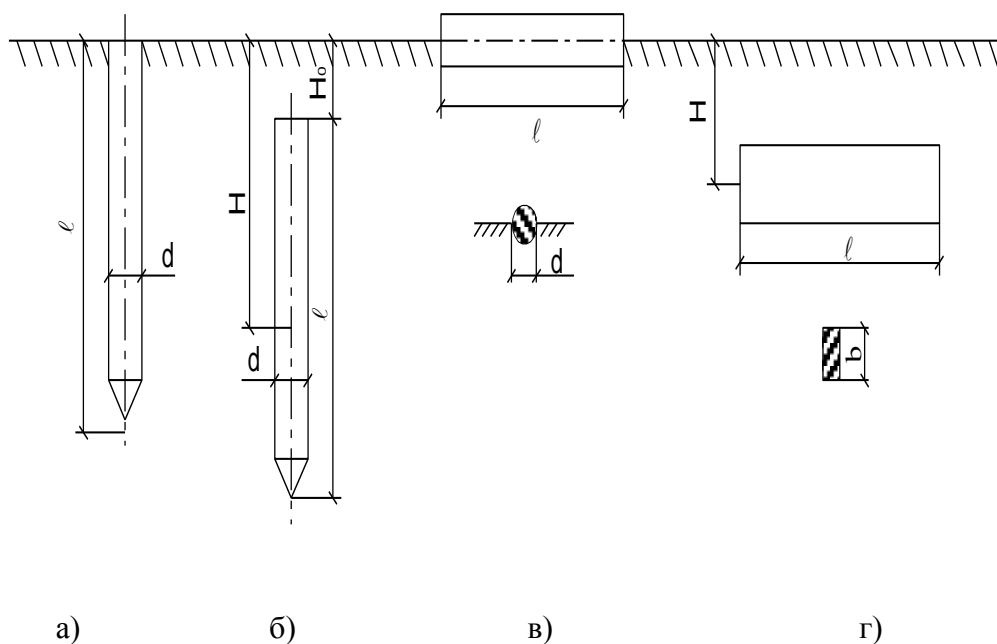


Рис. 2. Схема расположения электродов защитного заземления

## 6. Порядок выполнения работы

6.1. Определить удельное сопротивление грунта по формуле:

$$\rho_{\text{изм}} = 2\pi \frac{R_x \cdot \ell_1}{\ln \frac{4\ell_1}{d_1}}, \text{ Ом} \cdot \text{ м}, \quad (2)$$

где  $R_x$  - сопротивление вспомогательного электрода, измеряемое прибором М-416 по методике, описанной в параграфе 4 методического указания, Ом;  $d_1$  - длина и диаметр вспомогательного электрода, м, даны на схеме в задании.

По найденному значению  $\rho_{\text{изм}}$  выбрать грунт, пользуясь табл. 2.

6.2. Определить расчетное удельное сопротивление грунта по формуле:

$$\rho_{\text{рас}} = \rho_{\text{изм}} \cdot \varphi, \quad (3)$$

где  $\varphi$  - климатический коэффициент выбирается самостоятельно из таблицы 3, в зависимости от влажности грунта.

6.3. Выполнить расчет сопротивления вертикальных электродов или горизонтально расположенных полос в грунте в соответствии с заданием по одной из формул:

6.3.1. Заземлитель вертикальный трубчатый или стержневой, расположенный на поверхности грунта (рис.2, схема а)

$$R_{\text{тр}} = \frac{\rho_{\text{рас}}}{2\pi\ell} \ln \frac{4\ell}{d}, \text{ Ом}, \quad (4)$$

где  $\ell, d$  - длина и наружный диаметр электрода защитного заземления, м (даны в задании)

6.3.2. Заземлитель вертикальный трубчатый или стержневой, заглубленный в грунте (рис. 3.1, схема б)

$$R_{\text{мп}} = \frac{\rho_{\text{рас}}}{2\pi\ell} \left( \ln \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + \ell}{4H - \ell} \right), \text{ Ом}, \quad (5)$$

где  $\ell$  и  $d$  - длина и наружный диаметр электрода защитного заземления, м (даны в задании);

$H$  - глубина расположения центр электрода, определяемая расчетом из рис. 2, схема б.

6.3.3. Заземлитель круглого сечения трубчатый или стержневой на поверхности грунта, рис. 2, схема в

$$R_{\text{мп}} = \frac{\rho_{\text{рас}}}{2\pi\ell} \ln \frac{2\ell}{d}, \text{ Ом}, \quad (6)$$

где  $\ell$  и  $d$  - длина и наружный диаметр электрода защитного заземления, м (даны в задании)

6.3.4. Заземлитель протяженный - полоса в грунте, рис.2, схема г

$$R_{\text{мм}} = \frac{\rho}{2\pi\ell} \ln \frac{2\ell^2}{b \cdot H}, \text{ Ом}, \quad (7)$$

где  $\ell, b, H$  - длина, ширина и глубина залегания полосы, м (даны в задании).

6.4. Определить необходимое количество электродов

$$n = \frac{R_{\text{мп}}}{R_{\text{доп}}}, \text{ шт}, \quad (8)$$

где  $R_{\text{доп}}$  - допускаемое сопротивление защитного заземления, принимаем  $R_{\text{доп}} = 4$  Ом.

Полученные дробное число  $n$  - округлить до целого большего числа.

6.5. Определить сопротивление соединительной полосы между электродами по формуле:

$$R_{\text{пол}} = \frac{\rho_{\text{рас}}}{2\pi\ell_{\text{пол}}} \cdot \ell n \frac{2\ell_{\text{пол}}^2}{b \cdot H_{\text{пол}}}, \text{ Ом}, \quad (9)$$

где  $\ell_{\text{пол}}$  - длина соединительной полосы, м, определяемая в зависимости от расположения заземлителей.

$\ell_{\text{пол}} = 1,05 \cdot a \cdot n$  - расположение по контуру;

$\ell_{\text{пол}} = 1,05 \cdot a \cdot (n - 1)$  - расположение в ряд;

Расположение заземлителей принять самостоятельно.

$a$  - расстояние между заземлителями, м, принимаемое из таблицы 4; дано в задании  $b$  - ширина соединительной полосы;

$H_{\text{пол}}$  - глубина залегания соединительной полосы (дана в задании).

6.6. Определить общее сопротивление защитного сопротивления по формуле:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{\text{пол}} R_{\text{тр}}}{R_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{пол}} + R_{\text{пол}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot n}, \text{ Ом}, \quad (10)$$

где  $\eta_{\text{пол}}$ ,  $\eta_{\text{тр}}$  - коэффициенты использования заземлителей, выбираемые из табл. 4 и 5.

Полученное значение  $R_{\text{общ}}$  сравнить с допустимым сопротивлением. В случае значительного уменьшения  $R_{\text{общ}}$  от допустимого значения количество заземлителей уменьшить из экономических соображений, сделав поправочный расчет.

Таблица 2

Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов

Грунт	Удельное сопротивление, Ом·м
1. Песок	100-700
2. Супесок	150-400
3. Лес	100-300
4. Суглинок	40-150
5. Садовая земля	20-60
6. Глина	8-70
7. Чернозем	9-53
8. Торф	10-30

Таблица 3

## Значение расчетных климатических коэффициентов сопротивления грунта

Характер грунта	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$
Суглинок	2,0	1,5	1,4
Садовая земля до глубины 0,6 м ниже слой глины	-	1,32	1,2
Гравий с примесью глины, ниже глина	1,3	1,2	1,1
Известняк	2,5	1,51	1,2
Гравий с примесью песка	1,5	1,3	1,2
Торф	1,4	1,1	1,0
Песок	2,4	1,56	1,2
Глина	2,4	1,36	1,2

Коэффициент  $\varphi_1$  изменяется, если грунт влажный, измерения предшествовало выпадение большого количества осадков;  $\varphi_2$  - если грунт нормальной влажности, измерению предшествовало выпадение небольшого количества осадков.

Таблица 4

Коэффициент использования  $\eta_{тр}$  заземлителей из труб или уголков без учета влияния полосы связи

Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине	При размещении в ряд		При размещении по контуру	
	Число труб	$\eta_{тр}$	Число труб (уголков)	$\eta_{тр}$
1	2	0,84-0,87	4	0,66-0,72
	3	0,76-0,8	6	0,58-0,65
	5	0,67-0,72	10	0,52-0,58
	10	0,56-0,62	20	0,44-0,5
	15	0,51-0,56	40	0,38-0,44
	20	0,47-0,5	60	0,36-0,42
2	2	0,9-0,52	4	0,76-0,8
	3	0,85-0,88	6	0,71-0,75
	5	0,79-0,83	10	0,66-0,71
	10	0,72-0,77	20	0,61-0,66
	15	0,66-0,73	40	0,55-0,61
	20	0,65-0,7	60	0,52-0,58

Таблица 5

**Коэффициент использования  $\eta_{пол}$  соединительной полосы заземлителей из труб или уголков**

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число труб или уголков					
	4	8	10	20	30	50
	При расположении полосы в ряду труб					
1	0,77	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21
2	0,89	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36
	При расположении полосы по контуру труб или уголков					
1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21
2	0,55	0,43	0,4	0,32	0,3	0,28

### 7. Указания к составлению отчета

Отчет составляется один на бригаду, в котором необходимо указать номер и название работы, фамилии и инициалы студентов и номер группы.

В теоретической части привести схему электрической установки с защитным заземлением и график растекания тока в земле, согласно рис. 2.1.



## Литература

1. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках / П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 424 с.
3. Охрана труда в электроустановках /Под ред. Б.А.Князевского, Т.П.Марусовой, Н.А.Чемалина и др. М: Энергоиздат, 1983, 336с., ил.
4. Синилов, В.Г. Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. 4-е издание / В.Г. Синилов. – М.: Издательский центр "Академия", 2008 г. – 352 с.
5. Шачнев, А.И. Устройство и системы охранно-пожарной сигнализации / А.И. Шачнев. – Мн.: УП "Технопринт", 2001. – 228 с.
6. Охрана труда в машиностроении / Под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1983. - 432 с.
7. ССБТ ГОСТ 12.1.019-79. Электробезопасность. Общие требования.
8. Правила пожарной безопасности Российской Федерации (ППБ 01-03) 2007.
9. ГОСТ 27990-88 Средства охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Общие технические требования.
10. СНиП 2.04.09-84 Пожарная автоматика зданий и сооружений.
11. НПБ 88-2001. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования.
12. ПУЭ-7. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2007. – 511 с.