

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева»

Кафедра "Производственная безопасность, экология и химия"

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие  
к выполнению лабораторной работы по дисциплине  
«Безопасность жизнедеятельности»

Нижний Новгород 2025

Составители: **А.Б.Елькин, Н.С.Конюхова,**  
**О.В.Маслеева, Л.Н.Борисенко**

УДК 621.382.3+621.31+614.84(075.5)

**Оценка эффективности защитного заземления и зануления:** учебно-методическое пособие к выполнению лаб. работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» /НГТУ; Сост.: А.Б.Елькин, Н.С.Конюхова, О.В.Маслеева, Л.Н. Борисенко - Н.Новгород, 2025, – 12 с.

Изложены краткие сведения по электробезопасности, дано описание лабораторного стенда, требования по охране труда, порядок выполнения лабораторной работы и указания к составлению отчета.

Редактор Э.Б.Абросимова

Подп. к печ. 14.07.2025 . Формат 60x80<sup>1</sup>/16. Бумага газетная.  
Печать трафаретна. Усл. печ. л. 0,75. Тираж 100 экз. Заказ 321 .  
Нижегородский государственный технический университет.  
Типография НГТУ. 603155, Н.Новгород, ул. Минина, 24.

---

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева.  
Типография НГТУ.  
603155, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

© Нижегородский государственный  
технический университет  
им. Р.Е.Алексеева, 2025

## 1. Цель работы

1.1. Оценить и сравнить эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных сетей с изолированной нейтралью и трехфазных сетей с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

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

## 2. Краткие сведения из теории

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.

Величиной, характеризующей степень опасности прикосновения человека к корпусу электрической установки, находящейся под напряжением, является напряжение прикосновения, которое представляет собой разность потенциалов заземлителя  $\varphi_3$  и основания  $\varphi_{ос}$ :

$$U_{пр} = \varphi_3 - \varphi_{ос} = \varphi_3 - \varphi_3 \left(1 - \frac{r}{x}\right) = \varphi_3 \alpha, \quad (1)$$

где  $\varphi_3$  – потенциал на заземлителе;

$\varphi_{ос}$  - потенциал основания в помещении;

$r$  - радиус заземлителя;

$x$  - расстояние от электрооборудования до заземлителя;

$\alpha$ - коэффициент прикосновения.

Коэффициент прикосновения  $\alpha$  зависит от расстояния  $x$  между местом основания, на котором стоит человек, и заземлителем, изменяется от 0 до 1.

Потенциал заземлителя определяется величиной тока замыкания на землю и величиной сопротивления заземляющего устройства:

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3, \quad (2)$$

где  $I_3$  – ток замыкания на землю;

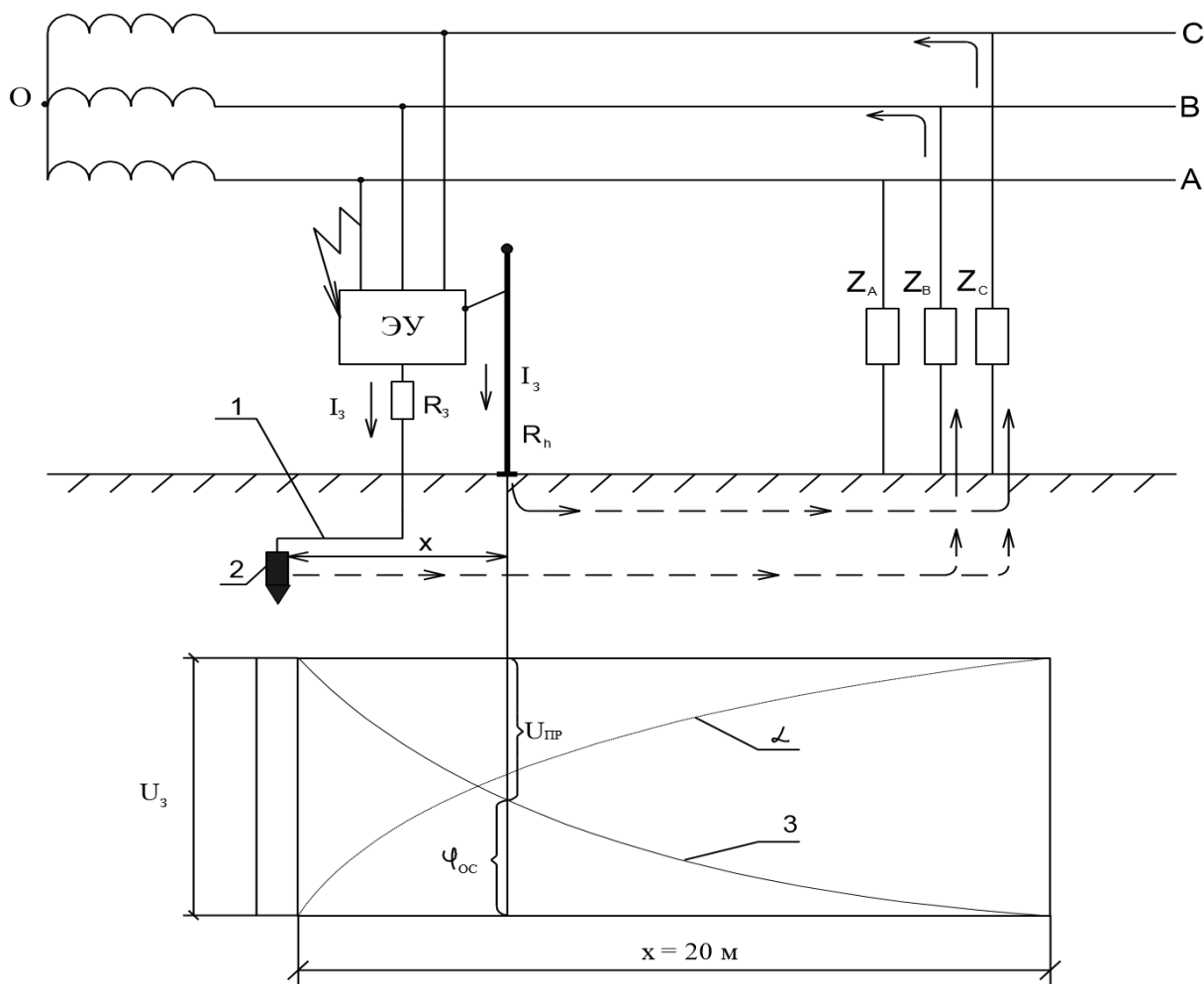
$R_3$  - сопротивления заземляющего устройства.

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

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_{из} + \frac{R_3}{3}}, \quad (3)$$

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

$R_{из}$ . - активное сопротивление изоляции провода.



**Рис. 1 - Схема защитного заземления электроустановки:**

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;  $I_ч$  - ток, проходящий через человека, А;  $R_ч$  - сопротивление человека (активное), Ом;  $Z_A, Z_B, Z_C$  - комплексное сопротивление изоляции проводов

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:

$$\text{- на корпусе 1 } U_1 = I_3 R_1 = \frac{U_{\Delta}}{R_1 + R_2} R_1, \text{ В,} \quad (4)$$

$$\text{- на корпусе 2 } U_2 = I_3 R_2 = \frac{U_{\Delta}}{R_1 + R_2} R_2, \text{ В,} \quad (5)$$

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

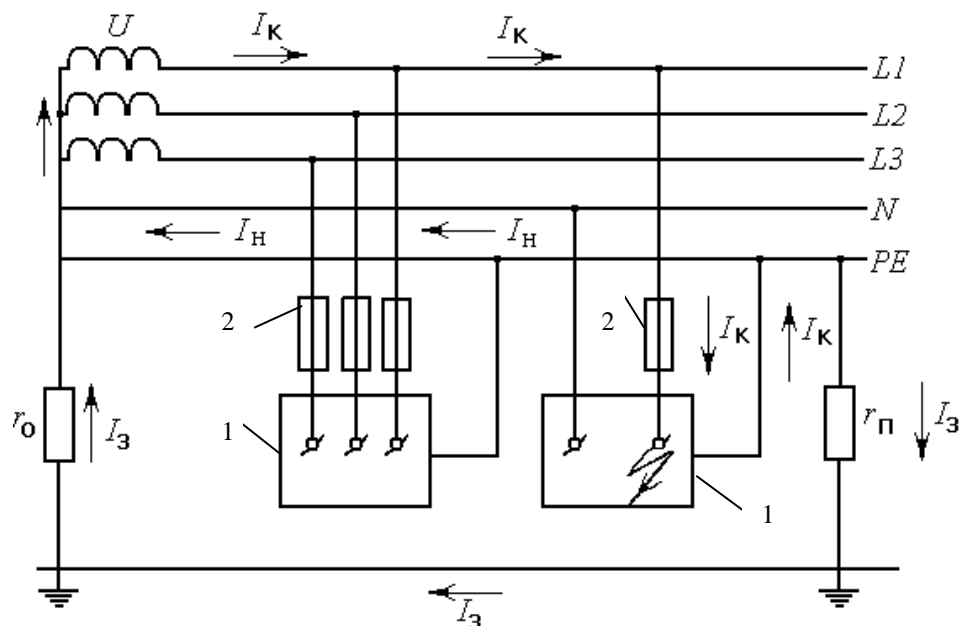
$R_1$  и  $R_2$  – сопротивления заземляющих устройств, Ом;  $U_{\Delta}$  - линейное напряжение сети, В (на стенде  $U_{\Delta} = 380$  В).

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.  $U_1 = U_2 = 0,5 U_{\Delta}$ .

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.

Схема зануления представлена на рис. 2.



**Рис. 2 - Принципиальная схема зануления в системе TN – S**

На рисунке 2 показаны следующие обозначения: 1 – корпус электроустановки (электродвигатель, трансформатор и т. п.); 2 – аппараты защиты от токов КЗ (предохранители);  $r_0$  – сопротивление заземления

нейтрали обмотки источника тока;  $r_n$  – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника;  $I_k$  – ток КЗ;  $I_n$  – часть тока КЗ, протекающего через нулевой защитный проводник;  $I_z$  – часть тока КЗ, протекающего через землю.

При замыкании фазного провода на зануленный корпус электропотребителя образуется цепь тока однофазного короткого замыкания (то есть замыкания между фазным и нулевым защитным проводниками). Ток однофазного короткого замыкания вызывает срабатывание максимальной токовой защиты, в результате чего происходит отключение поврежденной электроустановки от питающей сети. Кроме того, до срабатывания максимальной токовой защиты происходит снижение напряжения поврежденного корпуса относительно земли, что связано с защитным действием повторного заземления нулевого защитного проводника и перераспределением напряжений в сети при протекании тока короткого замыкания.

Следовательно, зануление обеспечивает защиту от поражения электрическим током при замыкании на корпус за счет ограничения времени прохождения тока через тело человека и за счет снижения напряжения прикосновения.

В качестве максимальной токовой защиты, обеспечивающей быстрое отключение электроустановки в аварийном режиме могут использоваться плавкие предохранители и автоматические выключатели, устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания, магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой, контакторы в сочетании с тепловыми реле, осуществляющие защиту от перегрузки, автоматы с комбинированными расцепителями, осуществляющие защиту одновременно от токов короткого замыкания и перегрузки и др.

При обрыве нулевого проводника защитное зануление превращается в защитное заземление. Следовательно, опасность поражения при прикосновении к одному из корпусов за местом обрыва возрастает.

Занулению подлежат:

- а) корпуса электроустановок, приводы электрических аппаратов;
- б) вторичные обмотки измерительных трансформаторов;
- в) каркасы распределительных щитов;
- г) конструкции распределительных устройств и части электрических линий;
- д) металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;
- е) электрооборудование, размещенное на движущихся частях станков, машин и механизмов.

Область применения зануления:

- электроустановки напряжением до 1000 В в трехфазных сетях переменного тока с заземленной нейтралью (система TN – S; обычно это сети напряжением 220/127, 380/220, 660/380 В);
- электроустановки напряжением до 1000 В в однофазных сетях переменного тока с заземленным выводом;
- электроустановки напряжением до 1000 В в сетях постоянного тока с заземленной средней точкой источника.

### 3. Охрана труда

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 380/220 В с частотой переменного тока 50 Гц.

3. Приступить к выполнению эксперимента нужно после получения разрешения и выдачи задания преподавателем.

4. 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!** Необходимо бережно относиться ко всему оборудованию стенда. Аккуратно выполнять эксперимент.

### 4. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой макет с вертикальной передней панелью. На лицевой панели стенда (рис.3) изображена мнемосхема системы «электрическая сеть – потребители», которая содержит изображение источника питания (трехфазная сеть), фазных и защитных проводников, электропотребителей: полуактивного (корпус 1), активного (корпус 2) и пассивного (корпус 3).

Индикация наличия фазных напряжений осуществляется тремя светодиодными индикаторам – желтым (фаза А), зеленым (фаза В) и красным (фаза С).

Стенд позволяет моделировать два способа защиты – защитное заземление и зануление. Подключение корпусов 1 и 2 к РЕ-проводнику или к заземляющим устройствам осуществляется путем соединения гибким проводом со штекерами клемм «Х1» или «Х2» с одной из клемм «Хре1», «Хре2» или Хзм1», Хзм2».

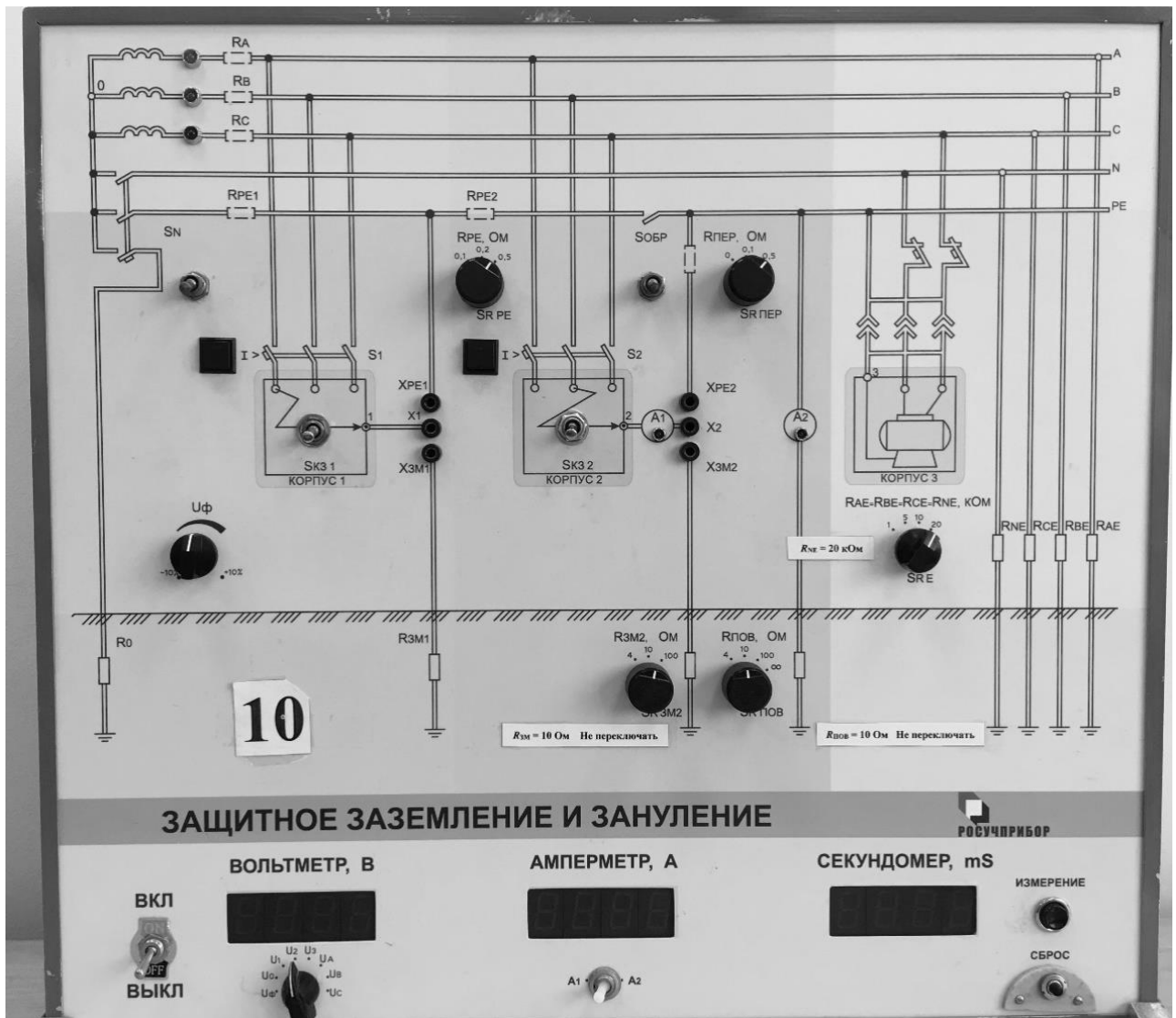


Рис. 3. Панель лабораторного стенда

На поле мнемосхемы размещены коммутационные элементы и регуляторы с соответствующими цифровыми обозначениями, выполняющими следующие функции:

- ( $R_{AE}, R_{BE}, R_{CE}, R_{NE}$ ); 1; 5; 10; 20 кОм - изменение значений сопротивлений изоляции проводов;

- $S_2$  и  $S_1$ , -имитация подключения автоматическими выключателями активного (корпус 2) и полуактивного (корпус 1) потребителей кнопками без фиксации с индикацией, (корпус 3 является пассивным и изображен как однофазный потребитель);

- $SK3.1$  и  $SK3.2$  (тумблеры с фиксацией и индикацией) обеспечивают имитацию замыкания корпусов 1 и 2 на фазы соответственно «А» и «В»;

- $S_{R PE}$  ( $R_{PE} = 0,1; 0,2; 0,5$  Ом) - изменение значений сопротивления нулевого проводника;

- $S_{R пер}$  ( $R_{пер} = 0; 0,1; 0,5$ ) - изменение значений переходного сопротивления между корпусом 2 и нулевым проводником;

-  $S_{R_{зм2}}$  ( $R_{зм2} = 10$  Ом не переключать!) - значение сопротивления заземления корпуса 2;

-  $S_3$  пов ( $R_{по} = 10$  Ом не переключать!)

Сопротивления заземления нейтрали и заземления корпуса 1 установлены постоянные (4 Ом).

Индикация токов (Амперметр) и напряжений (Вольтметр) в моделируемой трехфазной сети, а также времени срабатывания автоматического выключателя корпуса 2 (Секундомер) осуществляются цифровыми индикаторами в нижней части стенда. Индицируемые параметры зависят от положения переключателей «А1-А2» и «U<sub>A</sub>- U<sub>B</sub>- U<sub>C</sub>- U1- U2 - U3- Uф».

Так как только корпус 2 является активным, т.е. работающим при всех экспериментах, работа стенда осуществляется только при условии включения корпуса 2 и замыкания на землю фазы «В» (кнопка  $S_{кз2}$ ). Если будет попытка произвести измерение при несоблюдении этого условия, на цифровых индикаторах высветится цифра «2».

В случае набора не предусмотренной комбинации на цифровые индикаторы выводится символ «----».

Включение-выключение стенда производится тумблером «ВКЛ-ВЫКЛ».

## 5. Порядок выполнения работы

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

#### а) Незаземленный корпус

*Изолировать нейтраль* – перевести переключатель  $S_N$  в нижнее положение.

*Включить стенд* – тумблер перевести в положение «on», при этом загораются лампы.

*Подключить ЭУ 2 к сети кнопкой  $S_2$ .*

*Произвести тумблером  $S_{кз2}$  замыкание фазного провода В на корпус 2* положение тумблера – вверх).

*Вольтметром измерить напряжение незаземленного корпуса 2 относительно земли* (переключатель напряжений установить в положение U<sub>2</sub> и нажать кнопку «измерение»). Результат записать в табл. Нажать кнопку «СБРОС». Отключить  $S_{кз2}$ .

#### б) Заземленный корпус

- *Установить значение  $R_{зм2}$ , равное 4 Ом.*

- *Подключить ЭУ 2 к сети кнопкой  $S_2$ .*

- *Произвести тумблером  $S_{кз2}$  замыкание фазного провода В на корпус 2.*

- *Заземлить корпус 2 – соединить гнезда  $X_2$  и  $X_{зм2}$  с помощью гибких проводников.*
- *Переключить амперметр в положение “ $A_1$ .”*
- *Вольтметром измерить напряжение заземленного корпуса 2 относительно земли (переключатель напряжений установить в положение  $U_2$  и нажать кнопку «измерение») и ток замыкания на землю. Результаты записать в табл. 1.*
- *Выполнить сброс замыкания на корпус.*

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

- *Заземлить нейтраль источника тока - переключатель  $S_N$  в верхнее положение.*
- *Подключить ЭУ 2 к сети кнопкой  $S_2$ .*
- *Произвести тумблером  $S_{кз2}$  замыкание фазного провода  $B$  на корпус 2.*
- *Заземлить корпус 2 – соединить гнезда  $X_2$  и  $X_{зм2}$  с помощью гибких проводников.*
- *Установить амперметр в положение “ $A_1$ .”*  
Вольтметром измерить напряжение заземленного корпуса 2 относительно земли (переключатель напряжений установить в положение  $U_2$  и нажать кнопку «измерение») и ток замыкания на землю. Результаты записать в табл. 1. Значение напряжения на незаземленном корпусе внести в таблицу из предыдущего опыта.
- *Выполнить сброс замыкания на корпус.*

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

- *Изолировать нейтраль – перевести переключатель  $S_N$  в нижнее положение.*
- *Подключить ЭУ 1 к сети кнопкой  $S_1$  и ЭУ 2 кнопкой  $S_2$ .*
- *Одновременно тумблерами  $S_{кз2}$  и  $S_{кз1}$  произвести замыкания фазных проводов  $A$  и  $B$  на корпуса 1 и 2 соответственно.*
- *Установить переключатель амперметра в положение  $A_1$ .*
- *Вольтметром измерить напряжение незаземленного корпуса 1 относительно земли (переключатель напряжений установить в положение  $U_1$  и нажать кнопку «измерение») и напряжение незаземленного корпуса 2 относительно земли (переключатель напряжений установить в положение  $U_2$ ).*
- *Выполнить сброс замыканий.*

- **Заземлить корпуса** – соединить гнезда  $X_2$  и  $X_{з2}$  с помощью гибких проводников и гнезда  $X_1$  и  $X_{з1}$ .
- **Включить установки ЭУ1 и ЭУ2 и произвести замыкания соответствующими тумблерами  $S_{к2}$  и  $S_{к1}$  одновременно.**
- **Вольтметром измерить напряжение заземленного корпуса 1 относительно земли и напряжение заземленного корпуса 2 относительно земли** (переключатель напряжений установить в положение  $U_1$ , затем – в положение  $U_2$ ).
- **Одновременно измерить ток замыкания на землю.**
- **Результаты замеров занести в табл. 1.**
- **Выполнить сброс замыканий.**

Таблица 1

Оценка эффективности защитного заземления

Тип питающей сети	Напряжение на незаземленном корпусе, В	Напряжение на заземленном корпусе, В	Ток замыкания на землю, А
Сеть с изолированной нейтралью (замыкание на корпус 2)	$U_{к2} =$	$U_{к2} =$	$I_3 =$
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 вывод об эффективности защитного заземления в сетях с изолированной и заземленной нейтралью, сравнив соответствующие показания напряжений на заземленных корпусах. Также сделать вывод об эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью при двойном замыкании на заземленные корпуса.

#### 5.4. Оценка эффективности действия зануления в трехфазной 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** - переключатель  $S_N$  в верхнее положение.
- **Подключить корпус 2 к нулевому защитному проводнику**, для этого соединить гибкими проводниками гнезда  $X_{PE2}$  и  $X_2$ .
- **Переключателем  $S_{RPE}$  установить значение  $R_{PE} = 0,1$  Ом.**
- **Подключить ЭУ 2 к сети кнопкой  $S_2$ .**

- Произвести тумблером  $S_{кз2}$  замыкание фазного провода  $B$  на корпус 2.
- Включить амперметр (положение  $A1$ ).
- Снять показания времени срабатывания автомата защиты с помощью секундомера и тока замыкания на корпус с помощью амперметра  $A1$ , нажав кнопку «измерение».
- Выполнить сброс замыкания.
- Установить значения  $R_{PE}=0,2$ , затем  $0,5$  Ом и произвести измерения времени срабатывания защиты и тока замыкания на корпус соответственно.
- Отключить стенд.
- Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Оценка эффективности зануления в сети с заземленной нейтралью

Исходные данные	Время срабатывания защиты, с	Ток замыкания
Сопrotивление петли «фаза- нуль» $R_{PE}= 0,1$ Ом $R_{PE}= 0,2$ Ом $R_{PE}= 0,5$ Ом	$\tau_1=$ $\tau_2=$ $\tau_3=$	$I_1 =$ $I_2 =$ $I_3 =$

Сделать выводы об эффективности зануления в сети с заземленной нейтралью в зависимости от сопротивления петли «фаза-нуль», сравнив время срабатывания защиты с допустимым.

## 6. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать: цель работы, таблицы результатов и выводы.

### Контрольные вопросы

1. Что такое защитное заземление?
2. Область применения защитного заземления.
3. Что необходимо заземлить?
4. Принцип действия защитного заземления.
5. Каким образом выполняется зануление?
6. Область применения зануления.
7. Принцип действия зануления.