

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина»  
Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАНУЛЕНИЯ

Методические указания к лабораторной работе  
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»

Иваново 2005

Составители: Л.В. Виноградова,  
А.Г. Горбунов  
Ю.Ю. Рогожников  
Редактор Г.В. Попов

Предназначены для выполнения лабораторной работы по курсу «Безопасность жизнедеятельности». Дан список контрольных вопросов.

Утверждены цикловой методической комиссией ИФФ.

### Рецензент

кафедра безопасности жизнедеятельности ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина»

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАНУЛЕНИЯ**

Методические указания к лабораторной работе  
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»

Составители: ВИНОГРАДОВА Людмила Владимировна  
ГОРБУНОВ Александр Геннадьевич  
РОГОЖНИКОВ Юрий Юрьевич

Редактор С.М. Коткова  
Лицензия №  
Подписано в печать                      Формат  
Печать плоская. Усл. печ. л.                      Тираж 200 экз. Заказ №

ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени  
В.И. Ленина»  
153003, г.Иваново, ул.Рабфаковская, 34.  
Отпечатано в РИО ИГЭУ.

**Цель работы:** оценить эффективность действия зануления в трехфазной пятипроводной сети с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

## ЗАНУЛЕНИЕ

**Занулением** называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

**Нулевым защитным проводником** называется проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока или ее эквивалентом. Нулевой защитный проводник следует отличать от нулевого рабочего проводника, который также соединен с глухозаземленной нейтральной точкой источника тока, но предназначен для питания током электроприемников, т.е. по нему проходит рабочий ток. Схема зануления приведена на рис. 1.

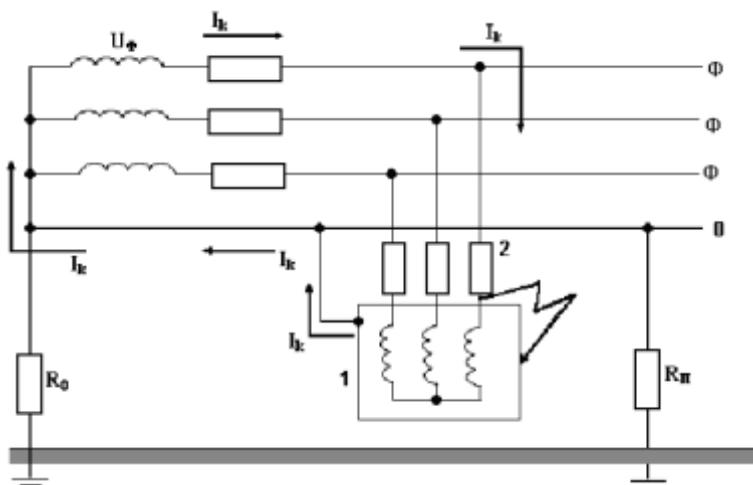


Рис.1. Принципиальная схема зануления: 1 - корпус; 2 – аппараты для защиты от токов короткого замыкания;  $R_0$  – сопротивления заземления нейтрали источника тока;  $R_n$  – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника;  $I_k$  – ток короткого замыкания

Задача зануления та же, что и защитного заземления – устранение опасности поражения людей током при замыкании на корпус. Принцип действия зануления – превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание, т.е. замыкание между фазным и нулевым проводами с целью создания большого тока, способного обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную установку от питающей сети. Такой защитой являются плавкие предохранители или автоматические выключатели, устанавливаемые перед потребителями энергии для защиты от токов короткого замыкания. Скорость отключения поврежденной установки, т.е. время с момента появления напряжения на корпусе до момента отключения установки от питающей электросети, составляет 5-7 с при защите установки плавкими предохранителями и 1-2 с – при защите автоматами.

Кроме того, поскольку зануленные части оказываются заземленными через нулевой защитный проводник, то в аварийный период, т.е. с момента возникновения замыкания фазы на корпус и до автоматического отключения поврежденной установки от сети, появляется защитное свойство, подобно тому, как имеет место при защитном заземлении. Иначе говоря, заземление зануленных частей через нулевой защитный проводник снижает в аварийный период их напряжение относительно земли.

Область применения зануления – трехфазные четырехпроводные сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью. Обычно это сети напряжением 380/220 В, широко применяющиеся в машиностроительной промышленности и других отраслях, а также сети 220/127 В и 660/380 В.

Схема зануления требует наличия в сети нулевого защитного проводника, заземления нейтрали источника тока и повторного заземления нулевого проводника.

**Назначение нулевого защитного проводника** – создание для тока короткого замыкания цепи с малым сопротивлением, чтобы этот ток был достаточным для быстрого отключения поврежденной установки от сети.

Согласно требованиям Правил устройства электроустановок нулевой провод должен иметь проводимость не меньше половины проводимости фазного провода. В этом случае ток ко-

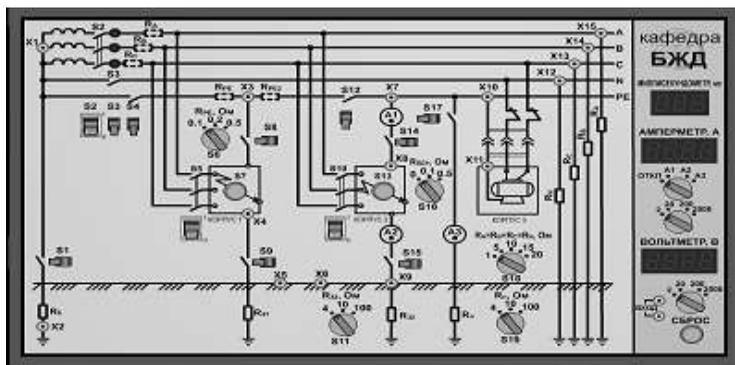
роткого замыкания будет достаточным для быстрого отключения поврежденной установки.

В трехфазной сети напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью без нулевого провода невозможно обеспечить безопасность при замыкании фазы на корпус, поэтому такую сеть применять запрещается.

**Назначение заземления нейтрали** – снижение до безопасного значения напряжения относительно земли нулевого проводника (и всех присоединенных к нему корпусов) при случайном замыкании фазы на землю.

**Назначение повторного заземления нулевого защитного проводника** – уменьшение опасности поражения людей током, возникающей при обрыве этого проводника и замыкании фазы на корпус за местом обрыва.

## СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА



## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой модель электрической сети с источником питания, электропотребителями, средствами защиты, измерительными приборами. В качестве источника используется трехфазный трансформатор. Стенд включается трехфазным автоматом S2 – положение I. При этом загораются индикаторы (желтого, зеленого и красного цветов), расположенные рядом с фазными проводами А, В, С. Режим нейтрали сети изменяется переключателем S1, причем правое

положение соответствует режиму заземленной нейтрали, а левое положение – режиму изолированной нейтрали. Нейтральная точка заземляется через сопротивление  $R_0=4\text{Ом}$ . С помощью переключателя S3 подключается нулевой рабочий проводник (N-проводник). Переключатель S4 предназначен для подключения нулевого защитного проводника (РЕ-проводника). Верхнее положение переключателей означает наличие пятипроводной сети, нижнее положение – трехпроводной сети.

Сопротивления фазных проводов сети и N-провода относительно земли смоделированы сосредоточенными сопротивлениями  $R_A, R_B, R_C, R_N$ . В данном стенде моделируется только активная составляющая полного сопротивления, причем используется случай симметричной проводимости проводов относительно земли ( $R_A=R_B=R_C=R_N$ ). Значения указанных сопротивлений изменяются пятипозиционным переключателем S18 в зависимости от вариантов, задаваемых преподавателем.

Электропотребители на мнемосхеме показаны в виде их корпусов. Потребители «корпус 1» и «корпус 2» являются трехфазными и подключены к сети через автоматические выключатели S5 и S10 соответственно. Положение I означает включение автоматов, при этом напряжение подается на потребителя. Электропотребитель «корпус 3» является однофазным, выполненным по классу 1 защиты от поражения электрическим током.

Лабораторный стенд позволяет моделировать два способа защиты: защитное заземление и зануление. Подключение корпусов 1 и 2 к РЕ-проводнику осуществляется переключателями S8 и S14 соответственно. Правое положение переключателей означает, что корпуса занулены. Сопротивление фазного провода от нейтральной точки до корпуса 2 не изменяется и имеет значение  $R_\phi=0,1\text{ Ом}$ , распределенное равномерно на двух участках провода (нейтральная точка – точка подключения корпуса 1 и точка подключения корпуса 1– точка подключения корпуса 2). Сопротивление РЕ-проводника может изменяться с помощью трехпозиционного переключателя S6, причем сопротивления участков «нейтраль»-«корпус1» и «корпус2» равны и принимают значения 0,1; 0,2; 0,5 Ом. Обрыв РЕ-проводника между точками подсоединения корпусов 1 и 2 имитируется с помощью переключателя S12, нижнее положение которого соответствует обрыву проводника. Повторное заземление  $R_n$  подключается к

РЕ-проводнику с помощью переключателя S17. Значение сопротивления  $R_{\Pi}$  изменяется трехпозиционным переключателем S19 (4, 10, 100 Ом). Переходное сопротивление  $R_{\text{пер}}$  между корпусом 2 и зануляющим проводником изменяется трехпозиционным переключателем S16 и может принимать значения 0; 0,1; 0,5 Ом.

Подключение корпусов 1 и 2 к заземляющим устройствам с сопротивлениями  $R_{31}$  и  $R_{32}$  осуществляется с помощью переключателей S9 и S15 соответственно. Сопротивление заземления  $R_{31}$  корпуса 1 является постоянным и равным 4 Ом. Сопротивление заземления  $R_{32}$  корпуса 2 устанавливается с помощью трехпозиционного переключателя S11 (4, 10, 100 Ом).

Замыкания фазных проводов на корпуса 1 и 2 осуществляются кнопками S7 и S13 соответственно, причем на корпус 1 замыкается фазный провод А, на корпус 2 – фазный провод В.

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 измерительные цепи через гнезда X1 – X15, установленные в соответствующих точках схемы, с помощью гибких проводников, снабженных наконечниками. Включение амперметра в цепь осуществляется с помощью переключателя, находящегося под индикатором. При соответствующем подключении загорается лампочка, указывающая на место подключения прибора. Положение «ОТКЛ» означает отсутствие амперметра в цепях стенда. В положении А1 измеряется ток короткого замыкания, в положении А3 – ток замыкания на землю через повторное заземление РЕ-проводника.

Миллисекундомер включается при нажатии кнопки S13, а отключается при срабатывании автоматического выключателя S10. Установка позволяет длительно сохранить режим, соответствующий периоду замыкания фазного провода на корпус 1 и корпус 2. Для возврата схемы в исходное состояние после того, как измерены все необходимые параметры, следует нажать кнопку «СБРОС».

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Оценка эффективности действия зануления в сети без повторного заземления РЕ-проводника.
2. Оценка эффективности действия зануления в сети с повторным заземлением РЕ-проводника.
3. Оценка эффективности использования повторного заземления РЕ-проводника при его обрыве.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ АВТОМАТОВ ЗАЩИТЫ И ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ ЗАМЫКАНИИ ФАЗНОГО ПРОВОДА НА КОРПУС ПРИ РАЗЛИЧНОМ СОПРОТИВЛЕНИИ ПЕТЛИ «ФАЗА-НУЛЬ»

1. Заземлить нейтраль источника тока – перевести S1 в левое положение.
2. Подключить N и РЕ-проводники к источнику тока – переключатели S3 и S4, S12 в верхнее положение.
3. Подключить корпуса 1 и 2 к РЕ-проводнику – переключатели S8 и S14 в правое положение.
4. Убедиться, что переключатели S9, S15, S17 находятся в левом положении.
5. Подключить корпуса 1 и 2 к сети – положение автоматов S5 и S10 – I.
6. Переключателем S6 установить значение  $R_{PE}=0,1$  Ом.
7. Произвести замыкание фазного провода на корпус 2 кнопкой S13.
8. Снять показания миллисекундомера и амперметра, при этом переключатель амперметра должен находиться в положении A1.
9. Установить значения  $R_{PE}=0,2; 0,5$  Ом, соответственно произвести измерения времени и тока короткого замыкания аналогично п.п. 7, 8.
10. Установить по заданию преподавателя фиксированное значение сопротивления  $R_{PE}$ .
11. В соответствии с п.п. 7 и 8 произвести измерения времени срабатывания и тока короткого замыкания при различных переходных сопротивлениях  $R_{пер}$ .
12. Отключить стенд – переключатель S2 в положение 0.

13. Результаты измерений занести в табл.1.

**Таблица 1. Результаты измерений**

Сопrotивление РЕ-проводника, $R_{PE}$	Переходное сопротивление, $R_{пер}$	Время срабатывания автомата защиты	Ток короткого замыкания

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ ВДОЛЬ РЕ-ПРОВОДНИКА БЕЗ И ПРИ НАЛИЧИИ ПОВТОРНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ**

1. Установить значения  $R_{PE}=0,1$  Ом,  $R_{пер}=0$ .
2. Включить стенд – S2 в положение 1.
3. Подключить корпуса 1 и 2 к сети – положения автоматов S5 и S10 – 1.
4. Произвести замыкание фазного провода на корпус 2 кнопкой S13.
5. Вольтметром с помощью гибких проводников измерить следующие напряжения:
  - напряжение нулевой точки относительно земли (гнезда X1 и X2);
  - напряжения корпусов относительно земли (гнезда X4 и X2, X8 и X2, X11 и X2).При измерении напряжений переключатель амперметра находится в положении «ОТКЛ».
6. Измерить ток короткого замыкания (положение переключателя амперметра A1) и время срабатывания.
7. Выключить стенд – переключатель S2 в положение 0.
8. Подключить повторное заземление РЕ-проводника – переключатель S17 в правое положение.
9. Установить значение  $R_{п}=4$  Ом.
10. Включить стенд – S2 в положение 1.
11. В соответствии с п.п. 4, 5, 6 измерить напряжения на корпусах, напряжение нулевой точки относительно земли, а также время срабатывания и ток короткого замыкания.
12. Установив переключатель амперметра в положение A3, измерить ток замыкания на землю.
13. Отключить стенд – S2 в положение 0.

14. Установить значения  $R_{\Pi}=10; 100 \text{ Ом}$ , соответственно произвести измерения аналогично п.п. 10, 11, 12.
15. Выключить стенд – S2 в положение 0.
16. Результаты занести в табл.2 и табл.3.

**Таблица 2.Фазный провод замкнут на корпус 2**

Сопротивление РЕ-проводника, $R_{PE}$	Переходное сопротивление, $R_{пер}$	Напряжение нулевой точки относительно земли (гнезда X1 и X2)	Напряжения корпусов относительно земли			Ток короткого замыкания	Время срабатывания автомата защиты
			X4 и X2	X8 и X2	X11 и X12		

**Таблица 3. Подключено повторное заземление РЕ-проводника**

Переходное сопротивление, $R_{\Pi}$	Напряжение нулевой точки относительно земли (гнезда X1 и X2)	Напряжения корпусов относительно земли			Время срабатывания автомата защиты	Ток короткого замыкания	Ток замыкания на землю
		X4 и X2	X8 и X2	X11 и X12			

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВТОРНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ ПРИ ОБРЫВЕ РЕ-ПРОВОДНИКА**

1. Отключить повторное заземление  $R_{\Pi}$  от РЕ-проводника – переключатель S17 в левое положение.
2. Произвести обрыв РЕ-проводника между корпусами 1 и 2, для чего перевести переключение S12 в нижнее положение.
3. Включить стенд – S2 в положение 1.
4. Включить автоматы защиты – S5 и S10 в положение 1.
5. Произвести замыкание фазного провода В на корпус 2 кнопкой S13.
6. Вольтметром с помощью гибких проводников измерить следующие напряжения:

- напряжение нулевой точки относительно земли (гнезда X1 и X2);
  - напряжения корпусов относительно земли (гнезда X4 и X2, X8 и X2, X11 и X2).
- При измерении напряжений переключатель амперметра находится в положении «ОТКЛ».
7. Установив переключатель амперметра в положение А3, измерить ток замыкания на землю.
  8. Выключить стенд – S2 в положение 0.
  9. Подключить повторное заземление к РЕ-проводнику – переключатель S17 в правое положение.
  10. Установить значение  $R_{\Pi}=4$  Ом.
  11. Включить стенд – S2 в положение 0.
  12. В соответствии с п.п. 5, 6, 7, 8 измерить напряжения на корпусах, напряжение нулевой точки относительно земли, а также ток замыкания на землю.
  13. Установить значения  $R_{\Pi}=10; 100$  Ом, соответственно произвести измерения напряжений и тока.
  14. Выключить стенд.
  15. Все переключатели перевести в исходное состояние.
  16. Результаты занести в табл.4 и табл. 5.

**Таблица 4. Повторное заземление отключено от РЕ- проводника**

Напряжение нулевой точки относительно земли (гнезда X1 и X2)	Напряжения корпусов относительно земли			Ток замыкания на землю
	X4 и X2	X8 и X2	X11 и X12	

**Таблица 5. Повторное заземление подключено к РЕ-проводнику**

Переходное сопротивление	Напряжение нулевой точки относительно земли (гнезда X1 и X2)	Напряжения корпусов относительно земли			Ток замыкания на землю
		X4 и X2	X8 и X2	X11 и X12	

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- принципиальные схемы исследуемых режимов;
- краткие выводы по каждому из разделов измерений;
- обработанные результаты измерений, представленные в виде таблиц.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. *Что такое зануление?*
2. *В чем суть принципа действия зануления как меры обеспечения электробезопасности?*
3. *В каких сетях используют зануление для обеспечения электробезопасности?*
4. *Каково назначение нулевого защитного проводника?*
5. *Что и из каких соображений выбирают при проектировании зануления?*
6. *Для чего предназначены повторные заземлители?*
7. *Электроустановка защищается правильно спроектированным и исправным занулением. Будет ли протекать ток через человека, если в момент касания его корпуса электроустановки произойдет замыкание на корпус?*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **ГОСТ 12.1.030 – 81** ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
2. **Правила** устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. **Долин П.А.** Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1984.