

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

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 ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

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 защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных трехпроводных сетей с изолированной нейтралью и трехфазных пятипроводных сетей с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ.

ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением [1].

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Основное назначение этого вида защитных мер – устранение опасности поражения током в случае прикосновения человека к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением. Принцип действия защитного заземления в сетях с изолированной нейтралью заключается в снижении до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, что достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования (за счет уменьшения сопротивления заземляющих устройств), а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, до значений, близких к значению потенциала заземленного оборудования. Заземление применяется в сетях как выше, так и ниже 1000 В. В сетях выше 1 кВ защитное заземление обеспечивает срабатывание максимальной защиты, при этом в [1] рекомендуется предусматривать устройства автоматического поиска места замыкания на землю.

Защитное заземление следует отличать от рабочего заземления, которое необходимо для обеспечения работы электроустановки.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) предусматривают использование естественных заземлителей – электропроводящих частей коммуникаций, зданий и сооружений производственного или иного назначения, находящихся в сопри-

косновении с землей. В качестве естественных заземлителей могут использоваться:

- проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубы, за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов; обсадные трубы артезианских колодцев, скважин и т.п.;
- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, имеющие соединение с землей;
- свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле;
- металлические шпунты гидротехнических сооружений;
- заземлители опор отходящих от подстанций воздушных линий электропередач, соединенных с заземляющим устройством подстанции при помощи грозозащитных тросов линий; рельсовые пути неэлектрифицированных железных дорог при наличии перемычек между рельсами.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, и поэтому использование их для заземления дает весьма ощутимую экономию металла. Недостатками естественных заземлителей являются доступность некоторых из них неэлектротехническому персоналу и возможность нарушения непрерывности соединения протяженных заземлителей.

Если сопротивление естественных заземлителей не удовлетворяет требованиям [2], используются искусственные заземлители, т.е. заземлители, специально выполняемые для целей заземления. Искусственные заземлители выполняются в виде вертикальных и горизонтальных электродов. В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы с толщиной стенки не менее 3,5 мм, диаметром не менее 10 мм (обычно 50–60 мм) и угловая сталь с толщиной полок не менее 4 мм (обычно размеры 40x50), длиной 2,5 – 3 м. Горизонтальные электроды выполняются из полосовой стали размером не менее 4x12 мм или стали круглого сечения диаметром не менее 6 мм. Заземлители прокладывают на глубине 0,7 – 0,8 м от поверхности земли. Горизонтальные и вертикальные заземлители соединяют между собой при помощи сварки.

Перед вводом заземляющих устройств в строй их испытывают – измеряют сопротивление растеканию тока, о чем должен свидетельствовать специальный протокол. В процессе экс-

платации сопротивление заземляющего устройства не остается постоянным, оно изменяется в зависимости от погодных условий и за счет коррозии заземлителей. Поэтому заземляющие устройства периодически подвергаются осмотрам и испытаниям. При этом время испытания выбирается таким образом, чтобы удельное сопротивление грунта в момент испытания было наибольшим (летом – во время наибольшего просыхания грунта, зимой – во время наибольшего промерзания).

Измерение сопротивления заземляющих устройств подстанций промышленных предприятий производится: после монтажа и капитального ремонта; в первый год эксплуатации; периодически не реже одного раза в 3 года. Измерение сопротивления заземляющих устройств цеховых электроустановок осуществляется не реже одного раза в год. Порядок проведения испытаний и результаты измерений оформляются протоколом. Если измеренные величины сопротивлений не отвечают требованиям [2], то проводят ревизию заземляющих устройств, устанавливают дополнительные заземлители.

ЯВЛЕНИЕ РАСТЕКАНИЯ ТОКА В ЗЕМЛЕ

В процессе эксплуатации электроустановок возможны случаи, когда по земле будет протекать ток. Протекание тока может быть преднамеренным (использование земли в качестве провода) или случайным (замыкание токоведущей части на заземленный корпус электроустановки, падение провода на землю). Стеkanie тока в землю сопровождается возникновением на заземлителе и поверхности земли вокруг него потенциалов. Возникающую при этом картину поля рассмотрим на примере одиночного полусферического заземлителя на поверхности земли (рис.1).

Приращение потенциала на элементарном слое полусферических поверхностей вокруг заземлителя (считаем грунт однородным)

$$\partial\varphi_x = -E_x \cdot \partial X,$$

где E_x – напряженность электрического поля в точке, удаленной от заземлителя на расстояние X ;

$$E_x = j_x \cdot \rho,$$

где j_x – плотность тока в рассматриваемом слое;
 ρ – удельное сопротивление грунта;

$$j_x = \frac{I_3}{2\pi X^2},$$

где I_3 – величина тока, стекающего в землю (ток замыкания).

Тогда приращение потенциала на элементарном слое можно записать

$$\partial\varphi_x = -\frac{I_3\rho}{2\pi X^2} \partial X.$$

Интегрируя по X , в пределах от X до ∞ , получаем выражение, характеризующее поле растекания потенциала в земле:

$$\varphi_x = \frac{I_3\rho}{2\pi X} = \frac{K}{X},$$

где K – постоянная величина.

Таким образом, потенциал на поверхности земли вокруг заземлителя изменяется по закону гиперболы, уменьшаясь от своего максимального значения непосредственно на заземлителе

$$\varphi_3 = \frac{I_3\rho}{2\pi \cdot r} = I_3 R_3,$$

где r – радиус заземлителя,

до нуля по мере удаления от заземлителя. Теоретически поле растекания простирается до бесконечности, однако для одиночного заземлителя уже на расстоянии около 20 м площадь слоя земли настолько велика, что плотность тока здесь практически равна нулю. Поэтому потенциал в точках, удаленных на 20 м и более от заземлителей, можно принимать равным нулю.

Проведенный анализ показывает, что грунт в поле растекания ведет себя как обычное сопротивление, уменьшая потенциал от некоторого значения в месте ввода тока в землю до нуля.

Сопротивлением заземляющего устройства, или сопротивлением растеканию тока данного заземлителя, называется сопротивление грунта поля растекания, создаваемого проводящим элементом, с которого в землю стекает ток.

Специальный анализ, выходящий за рамки настоящей работы, показывает, что величина сопротивления этой области грунта зависит от формы, количества и расположения элементов, создающих поле растекания, и удельного сопротивления земли.

В нашем случае сопротивление растеканию тока полусферического заземлителя можно определить как

$$R = \frac{U_R}{I},$$

где U_R – падение напряжения на сопротивлении R ;

I – ток через это сопротивление.

Падение напряжения на сопротивлении полусферического заземлителя

$$U_3 = \varphi_3 - \varphi_0,$$

где φ_3 – потенциал заземлителя;

φ_0 – потенциал на границе поля растекания ($\varphi_0 = 0$).

φ_3 можно определить следующим образом:

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi \cdot r},$$

где r – радиус заземлителя.

Деля это выражение на ток, получаем окончательно для сопротивления растеканию тока полусферического заземлителя

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi \cdot r}.$$

В реальных условиях, когда грунт вокруг заземлителя неоднороден, распределение потенциала происходит не по гиперболе, а по более сложной кривой, и выражение для сопротивления растеканию тока будет более сложным.

Протекание токов в земле представляет определенную опасность для человека. Это связано с возникновением напряжения прикосновения и шагового напряжения.

Напряжением прикосновения называется разность потенциалов двух точек электрической цепи, которых одновременно касается человек.

В случае касания человеком корпуса заземленной установки, на которой произошло замыкание токоведущей части,

под напряжением прикосновения понимается разность между потенциалом рук, касающихся корпуса, и потенциалом основания, на котором стоит человек (рис.1). Пренебрегая падением напряжения в заземляющих проводниках, можно считать, что потенциал рук равен потенциалу заземлителя, а напряжение прикосновения

$$U_{np} = \varphi_p - \varphi_{осн} = \varphi_з - \varphi_{осн} = \varphi \cdot \lambda_1,$$

где λ_1 – коэффициент прикосновения.

Поскольку $\varphi_з$ – величина постоянная, напряжение прикосновения определяется формой кривой распределения потенциала, оно возрастает по мере удаления от заземлителя. Практически при расстояниях, превышающих 20 м, напряжение прикосновения постоянно и имеет наибольшее значение, при этом $\lambda_1=1$. Если прикосновение происходит около заземлителя, то напряжение прикосновения равно нулю и $\lambda_1=0$.

Шаговым напряжением называется разность потенциалов двух точек на поверхности земли в зоне растекания тока, которые находятся на расстоянии шага и на которых одновременно стоит человек (рис.1):

$$U_{ш} = \varphi_x - \varphi_{x+a},$$

где a – длина шага (обычно в расчетах принимается равной 0.8 м).

Поскольку φ_x и φ_{x+a} являются частями потенциала заземлителя, то выражение шагового напряжения можно записать в виде

$$U_{ш} = \varphi_з \cdot \beta_1,$$

где β_1 – коэффициент шага, учитывающий форму кривой распределения потенциала.

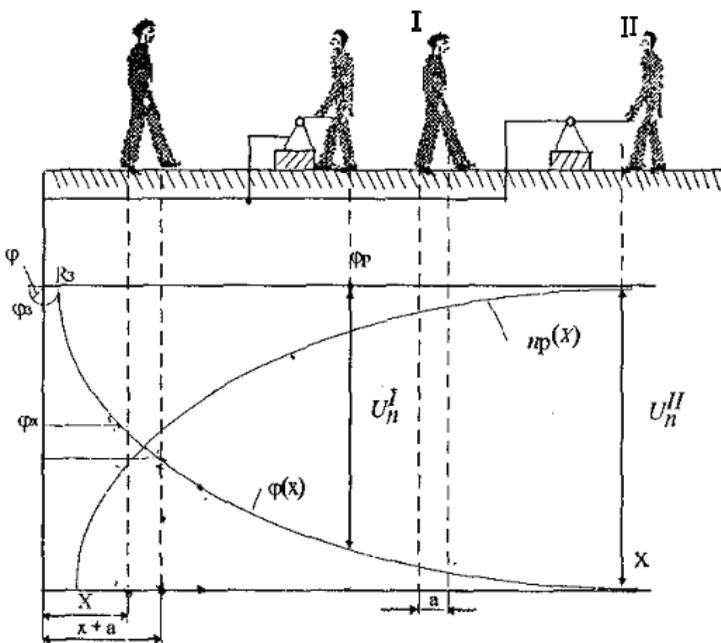


Рис.1. Явление растекания тока в земле

Максимальным значение напряжения шага будет при наименьшем расстоянии от заземлителя, когда человек одной ногой стоит непосредственно на заземлителе, а другой – на расстоянии шага от него. Наименьшим значение шагового напряжения будет при бесконечно большом удалении от заземлителя, а практически – за пределами поля растекания тока, т.е. далее 20 м.

Шаговое напряжение зависит от ширины шага, удаления идущего человека от заземлителя, а также удельного сопротивления грунта (рис.1).

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 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 сопротивле-

ния 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 $R_{п}$ подключается к РЕ-проводнику с помощью переключателя S17. Значение сопротивления $R_{п}$ изменяется трехпозиционным переключателем S19 (4, 10, 100 Ом). Переходное сопротивление $R_{пер}$ 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 $R_{з1}$ и $R_{з2}$ осуществляется с помощью переключателей S9 и S15 соответственно. Сопротивление заземления $R_{з1}$ корпуса 1 является постоянным и равным 4 Ом. Сопротивление заземления $R_{з2}$ 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, соответ-

ствующий 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 защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных трехпроводных сетей с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ.
2. Оценка эффективности действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью при двойном замыкании на заземленные корпуса электроустановок.
3. Оценка эффективности действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных пятипроводных сетей с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ.
4. Определение зависимости изменения напряжения прикосновения при изменении расстояния до заземлителя.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

1. Изолировать нейтраль – перевести переключатель S1 в левое положение.
2. Отключить N и PE-проводники – перевести переключатели S3 и S4 в нижнее положение.
3. Установить значения активных сопротивлений изоляции переключателем S18 в соответствии с заданием преподавателя.
4. Убедиться, что переключатели S8, S14, S17, S9, S15 находятся в левом положении; переключатель S12 – в нижнем положении.
5. Включить стенд – S2 в положение 1, при этом загораются лампы.
6. Подключить корпус 2 к сети – автомат S10 в положение 1 (корпус 1 отключен – S5 в положение 0).
7. Произвести кнопкой S13 замыкания фазного провода В на корпус 2.

8. Вольтметром с помощью гибких проводников измерить следующие напряжения:
 - напряжение корпуса 2 относительно земли (гнезда X8 и X2);
 - напряжения фазных проводов относительно земли (гнезда X2 и X15, X2 и X14, X2 и X13).
9. Кнопкой «СБРОС» устранить замыкание фазного провода на корпус 2.
10. Выключить стенд – S2 в положение 0.
11. Установить значение R_{32} в соответствии с заданием преподавателя.
12. Заземлить корпус 2 – переключатель S15 в правое положение.
13. Включить стенд – S2 в положение 1.
14. Произвести замыкание фазного провода В на корпус 2.
15. Вольтметром с помощью гибких проводников измерить следующие напряжения:
 - напряжение корпуса 2 относительно земли (гнезда X8 и X2);
 - напряжения фазных проводов относительно земли (гнезда X2 и X15, X2 и X14, X2 и X13);
 - напряжения прикосновения при различных расстояниях до заземлителя (гнезда X8 и X9, X8 и X6, X8 и X5).При измерении напряжения необходимо отключить амперметр (переключатель амперметра – в положение «ОТКЛ»).
16. Измерить ток замыкания на землю, установив переключатель амперметра в положение A2, при этом загорается лампа, соответствующая данному подключению амперметра. При переходе с одного предела измерения амперметра на другой необходимо дождаться установившегося показания прибора. При измерениях с помощью цифровых приборов наблюдается дрейф последней цифры – в протокол следует заносить среднее значение показания.
17. Переключатель амперметра установить в положение «ОТКЛ».
18. Отключить стенд – S2 в положение 0.
19. Результаты измерений занести в табл.1 и табл.2.

Таблица 1. Корпус 2 не заземлен

Активное сопротивление изоляции	Напряжение корпуса 2 относительно земли	Напряжения фазных проводов относительно земли		
		X_2 и X_{15}	X_2 и X_{14}	X_2 и X_{13}

Таблица 2. Корпус 2 заземлен

Сопротивление заземления корпуса 2 (R_{32})	Напряжение корпуса 2 относительно земли	Напряжения фазных проводов относительно земли			Напряжения прикосновения при различных расстояниях до заземлителя			Ток замыкания на землю
		X_2 и X_{15}	X_2 и X_{14}	X_2 и X_{13}	X_8 и X_9	X_8 и X_6	X_8 и X_5	

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ ПРИ ДВОЙНОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗАЗЕМЛЕННЫЕ КОРПУСА

1. Заземлить корпус 1 – переключатель S9 в правое положение.
2. Подключить корпус 1 к сети – автомат S5 в положение 1.
3. Включить стенд – S2 в положение 1.
4. Одновременно кнопками S7 и S13 произвести замыкания фазных проводов А и В на корпуса 1 и 2 соответственно.
5. Вольтметром с помощью гибких проводников измерить следующие напряжения:
 - напряжение корпуса 1 относительно земли (гнезда X4 и X2);
 - напряжение корпуса 2 относительно земли (гнезда X8 и X2);
6. Измерить ток замыкания на землю, установив переключатель амперметра в положение A2.
7. Переключатель амперметра установить в положение «ОТКЛ».
8. Отключить стенд – S2 в положение 0.

9. Результаты измерений занести в табл. 3.

Таблица 3. Сеть с изолированной нейтралью

Напряжение корпуса 1 относительно земли	Напряжение корпуса 2 относительно земли	Ток замыкания на землю

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ В СЕТИ С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

1. Отключить корпус 1 от сети – переключатель S5 в положение 0.
2. Заземлить нейтраль источника тока – переключатель S1 в правое положение.
3. Подключить N и PE-проводник к источнику питания – S3 и S4 в верхнее положение.
4. Включить стенд – S2 в положение 1.
5. Кнопкой S13 замкнуть фазный провод В на корпус 2.
6. Вольтметром с помощью гибких проводников измерить следующие напряжения:
 - напряжение корпуса 2 относительно земли (гнезда X8 и X2);
 - напряжение нейтральной точки относительно земли (гнезда X1 и X2).
7. Измерить ток замыкания на землю, установив переключатель амперметра в положение A2.
8. Выключить стенд – S2 в положение 0.
9. Все переключатели перевести в исходное состояние.
10. Результаты измерений занести в табл. 4.

Таблица 4. Сеть с заземленной нейтралью

Напряжение корпуса 2 относительно земли	Напряжение нейтральной точки относительно земли	Ток замыкания на землю

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 называют заземляющим устройством?*
2. *Каков принцип действия заземления как меры обеспечения электробезопасности?*
3. *Что называют сопротивлением растеканию тока заземляющего устройства?*
4. *От каких параметров зависит значение сопротивления растеканию тока заземляющего устройства?*
5. *Что может использоваться в качестве естественного заземлителя?*
6. *Что такое напряжение прикосновения?*
7. *От каких параметров зависит значение напряжения прикосновения?*
8. *Что такое напряжение шага?*
9. *От каких параметров зависит значение напряжения шага?*

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.