

Лабораторная работа
(продолжительность лаб. работы 5 часа)

**ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЕЙ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

Цель работы

Целью работы является оценка опасности прикосновения человека к фазным проводам электрических сетей напряжением до 1000 В, а также определение влияние активного сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли на опасность поражения человека электрическим током при нормальном и аварийном режимах работы двух типов сетей.

Рабочее задание

1. Сравнить опасность прямого прикосновения человека к проводам двух трехфазных сетей напряжением до 1000 В:

- трехпроводной с изолированной нейтралью;
- четырехпроводной с заземленной нейтралью (параметры сетей задает преподаватель).

Измерения проводятся для двух режимов работы сетей: нормального и аварийного (при замыкании одного из фазных проводов на землю).

2. При нормальном и аварийном режимах работы для каждого типа сети определить зависимость тока, проходящего через тело человека, при прямом прикосновении к фазному проводу в зависимости от:

- активного сопротивления изоляции фазных и PEN-провода (нейтраль) относительно земли при постоянном значении емкости проводов относительно земли (сеть симметричная);
- емкость фазных и PEN-провода (нейтраль) относительно земли при постоянном значении активного сопротивления изоляции проводов относительно земли (сеть симметричная).

Теоретические положения

Стенд лабораторный "Электробезопасность трехфазных сетей переменного тока" позволяет моделировать работу любой встречающейся на

практике электрической сети трехфазного тока. В стенде смонтированы сосредоточенные проводимости и емкости сетей относительно земли.

Изменяя величины проводимости относительно земли, а также соотношения между ними, можно имитировать работу любой трехфазной сети переменного тока с разными режимами нейтрали.

В зависимости от режима нейтрали каждая из сетей характеризуется своими технико-экономическими, эксплуатационными и другими показателями, в том числе и показателями по электробезопасности, от которой зависит исход поражения электрическим током.

Поражение человека током возможно лишь при замыкании электрической цепи через тело человека, что является следствием его прикосновения к двум точкам этой цепи, между которыми существует некоторое напряжение. Опасность такого прикосновения оценивается значением тока, проходящего через тело человека I_h . Величина этого тока зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжения сети и режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, емкости токоведущих частей относительно земли и др.

Тяжесть поражения зависит от величины тока, его рода и частотных характеристик, значения сопротивления тела человека, пути протекания тока через тело человека, длительности воздействия, индивидуальных особенностей человека и некоторых других факторов.

Трехфазные электрические сети по опасности поражения человека, прикоснувшегося к фазе, делятся на три типа: сети с изолированной нейтралью источника питания; сети с глухозаземленной нейтралью; сети с нейтралью, заземленной через компенсирующее устройство.

В установках напряжением до 1000 В сети с изолированной нейтралью безопаснее сетей с заземленной нейтралью только при условии хорошей изоляции фаз относительно земли и сравнительно небольшой протяженности сети, так как чем длиннее провода, тем больше емкостных токов и токов утечки.

Когда же сети разветвлены, они имеют большую протяженность, и даже при хорошей изоляции имеют большие токи утечки и емкостные токи. В этих условиях сеть с изолированной нейтралью лишается преимуществ.

Для оценки электробезопасности трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью, схема которой показана на рис. 1, необходимо определить ток I_h , проходящий через тело человека, в случае его прикосновения к одной из фаз в период нормальной работы этой сети. При равных проводимостях фазных проводов относительно земли ток I_h , А, в этом случае определяется следующим выражением:

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

где Z – комплекс полного сопротивления провода относительно земли, Ом;
 R_h – сопротивление тела человека, Ом;
 U_ϕ – фазное напряжение, В.

При выполнении данной работы не учитываются сопротивление обуви человека и сопротивление основания, на котором стоит человек.

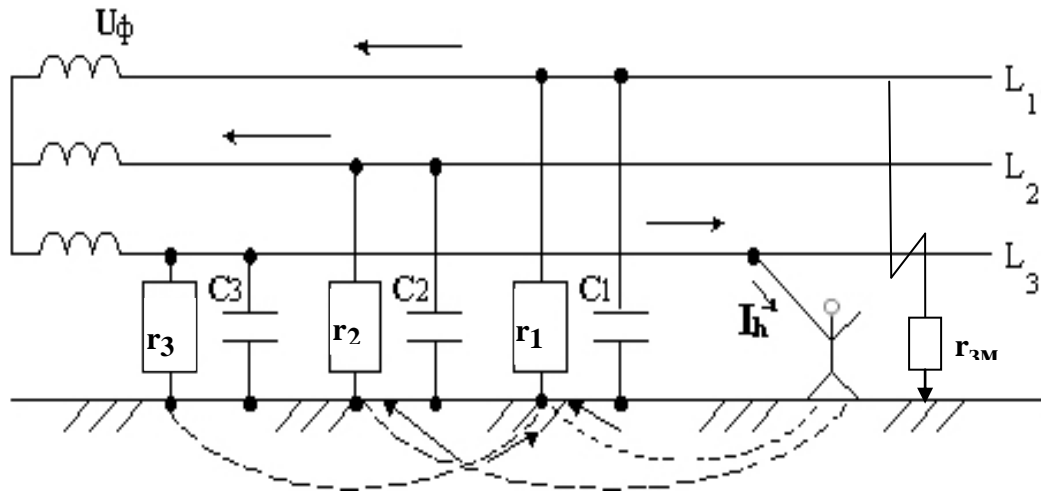


Рис. 1. Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

Если емкость проводов относительно земли мала, т.е. $C = 0$, то обычно имеет место в воздушных сетях небольшой протяженности, то значение тока I_h определяется выражением:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{\text{осн}} + r/3}, \quad (2)$$

где r – сопротивление изоляции проводов сети относительно земли при значениях $r_1 = r_2 = r_3 = r$.

Если же проводимость изоляции проводов относительно земли незначительна, то есть $r = \infty$, емкость проводов относительно земли велика, то обычно имеет место в кабельных сетях, то ток через человека будет определяться выражением:

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

где $x_c = 1/\omega C$ – емкостное сопротивление провода относительно земли, Ом;
 ω – угловая частота сети ($f = 50$ Гц);
 C – емкость провода относительно земли, Ф.

Из последнего выражения следует, что в сетях с большой емкостью относительно земли роль сопротивления изоляции проводов относительно земли в обеспечении безопасности прикосновения утрачивается.

При аварийном режиме работы сети с изоляционной нейтралью, т.е. когда возникло замыкание одной из фаз на землю через сопротивление гзм (обычно на практике $r_{зМ} \leq R_h$), ток через человека I_h , прикоснувшегося к исправной фазе, определяется согласно выражению:

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot U_\phi}{R_h + r_{зМ}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_\phi}{R_h}. \quad (4)$$

Для оценки электробезопасности трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью, которая показана на рис. 2, при нормальном режиме ее работы выражение для тока I_h можно записать в следующем виде:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0} = \frac{U_\phi}{R_h}, \quad (5)$$

а напряжение прикосновения:

$$U_{пр} = I_h \cdot R_h = U_\phi. \quad (6)$$

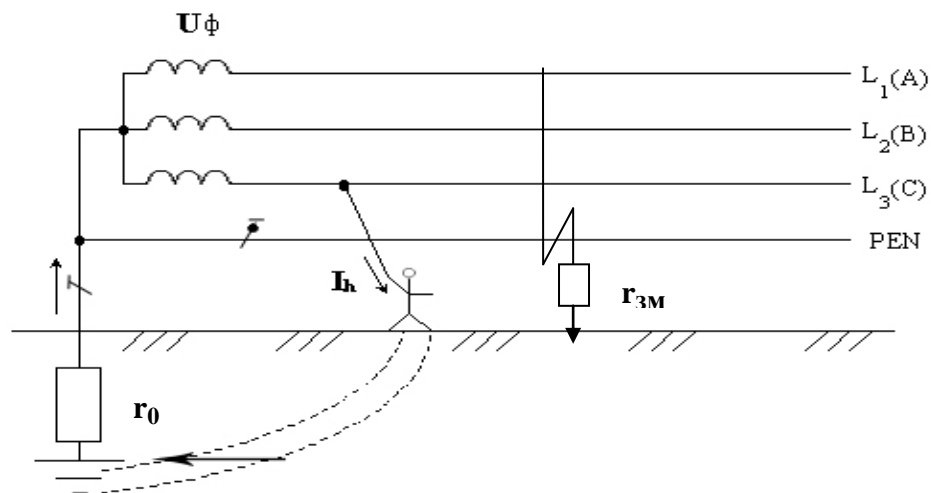


Рис. 2. Трехфазная четырехпроводная сеть с заземленной нейтралью

Сопротивлением заземления нейтрали можно пренебречь, так как в обычных сетях $r_0 < 10$ Ом, а значение сопротивления тела человека принимается равным 1000 Ом.

В аварийном режиме, когда одна из фаз сети, например, фаза 2 (рис. 2), замкнута на землю через относительно малое сопротивление $r_{3М}$, ток через человека, I_h , определяется выражением:

$$I_h = U_{\phi} \frac{r_{3М} + r_0 \sqrt{3}}{r_0 \cdot r_{3М} + R_h (r_{3М} + r_0)}. \quad (7)$$

Напряжение прикосновения в этом случае, с учетом выражения (7), будет равно:

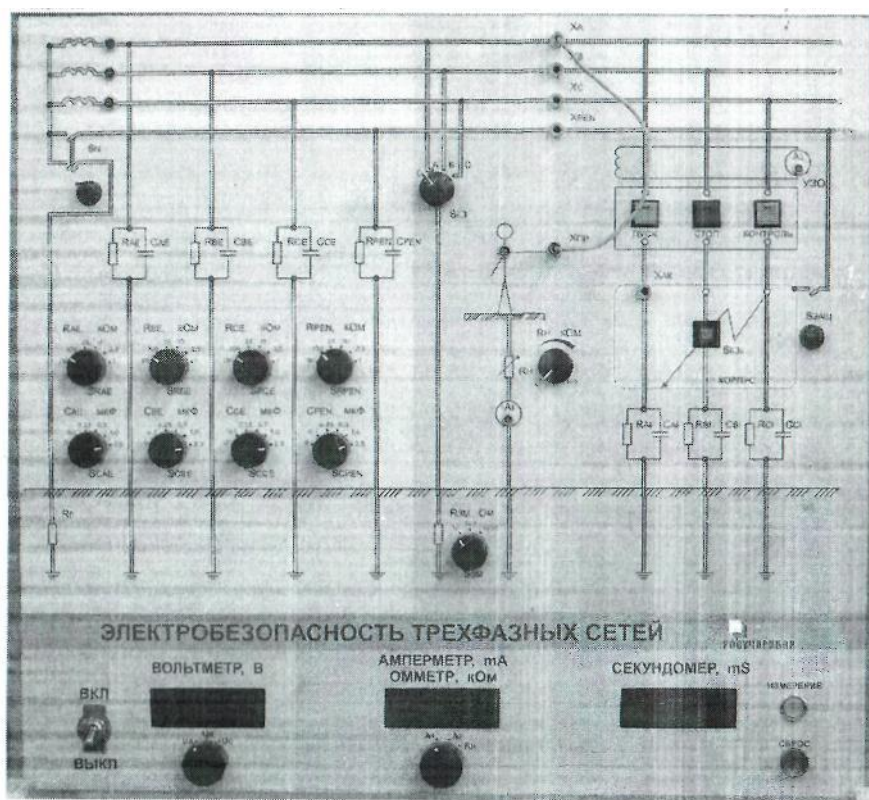
$$U_{пр} = I_h \cdot R_h. \quad (8)$$

Для случая, когда $r_{3М} = 0$,

$$U_{пр} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi}. \quad (9)$$

Описание лабораторной установки

При выполнении лабораторной работы «Электробезопасность трехфазных сетей переменного тока» используется стенд БЖ 6/1 М, который представляет собой настольную конструкцию с вертикальной передней панелью. На лицевой панели стенда изображена (рисунок) мнемосхема системы «трехфазная электрическая сеть-человек», которая содержит изображение источника питания (трехфазная сеть), фазных и защитных проводников, электропотребителя, устройств защитного отключения (УЗО) и цепи, имитирующие прикосновение человека к фазным проводам.



Мнемосхема системы «трёхфазная электрическая сеть-человек»

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

Реально существующие распределенные сопротивления изоляции и ёмкости проводов (фазных и нулевого) относительно земли изображены на мнемосхеме в виде сосредоточенных элементов – резисторов и конденсаторов, расположенных слева вне защиты УЗО. Трёхфазный электропотребитель показан на мнемосхеме в виде корпуса, подключённого к системе через УЗО, реагирующего на дифференциальный (остаточный) ток.

В изображение 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.

По принципу работы стенд является цифровым микропроцессорным устройством, вычисляющим по существующим формулам параметры сети, в зависимости от комбинаций коммутационных элементов на передней панели стенда. Результаты вычислений выводятся на цифровые индикаторы. Индикаторы отображают «измеренные» (вычисленные) значения параметров по нажатию кнопки «Измерение», показания сбрасываются нажатием кнопки

«Сброс». При работе с УЗО кнопку «Измерение» нажимают, удерживая кнопки «Контроль» либо «S кз к».

Включение и выключение стенда производится тумблером «ВКЛ – ВЫКЛ».

Указания по технике безопасности

1. К работе со стендом допускаются лица, ознакомленные с его устройством, принципом действия, а также с инструкцией по технике безопасности в лаборатории.

2. К работам по монтажу и проверке стенда допускается персонал, обученный методам безопасной работы с электрооборудованием напряжением до 1000В в соответствии с требованиями действующих «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭ) и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТБ).

3. При обнаружении неисправности в работе стенда необходимо выключить питание и сообщить об этом преподавателю.

Подготовка и выполнение работы на стенде «Электробезопасность»

1. Произвести внешний осмотр стенда и убедиться в целостности светодиодных индикаторов, органов коммуникации и надежном их креплении.

2. Перед подключением стенда к сети установить переключатель «Вкл/Выкл» в нижнее положение.

3. Для включения стенда необходимо перевести переключатель «Вкл/Выкл» в верхнее положение, при этом должны засветиться светодиоды индикации наличия напряжения на фазных проводах.

1. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прямом прикосновении к фазному проводу трехфазной сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме сети в зависимости от активного сопротивления изоляции и емкости проводов.

1.1. Исходное положение.

1.1.1. Имитация прикосновения человека к токоведущим проводам сети осуществляется путем соединения гибким проводом со штекерами клеммы «X_{пр}» с одной из клемм «X_а», «X_в», «X_с».

1.1.2. Режим нейтрали – изолированная (PEN-проводник отключен переключателем «SN» – нижнее положение).

1.1.3. Сопротивление замыкания фазного провода на землю « R_{3M} » находится в одном из 3-х положений (например – 10 Ом).

1.1.4. Положение переключателя « $A1-A2-R_H$ » в положении – $A1$.

1.1.5. Ручка регулятора резистора R_H должна находиться в положении – «1».

1.2. Порядок выполнения работ при исследовании зависимости тока от активного сопротивления изоляции проводов.

1.2.1. Перевести переключатель « S_{K3} » в положение «О» – нормальный режим сети.

1.2.2. Установить с помощью переключателей ёмкость фазных проводов « C_{AE} », « C_{BE} », « C_{CE} », « C_{PEN} » в положение «О», когда практически отсутствует емкостная связь проводов с землей.

1.2.3. Установить сопротивление изоляции проводов (« R_{AE} »; « R_{BE} »; « R_{CE} »; « R_{PEN} ») равным 1000 Ом.

1.2.4. Включить стенд – положение тумблера «ВКЛ/ВЫКЛ» в положение «ВКЛ».

1.2.5. Произвести измерение тока в цепи тела человека с помощью цифрового индикатора, нажав кнопку «Измерение».

1.2.6. Результаты измерений п.п. 1.2.5 занести в таблицу 1.

Показания сбрасываются нажатием кнопки «Сброс».

1.2.7. Изменяя сопротивление изоляции проводов от 1 кОм до 100 кОм (переключая одновременно « R_{AE} »; « R_{BE} »; « R_{CE} »; « R_{PEN} »), выполнять действия п.п. 1.2.5 – 1.2.6.

1.3. Порядок выполнения работ при исследовании зависимости тока от емкости проводов.

1.3.1. Установить значения активного сопротивления проводов относительно земли постоянными (например, моделируя кабельную сеть, можно задать $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN} = \infty$).

1.3.2. Устанавливая переключателями последовательно значения $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_{PEN}$ равными: 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5 мкФ, измерить ток.

1.3.3. Результаты измерений занести в таблицу 1.

2. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прямом прикосновении к фазному проводу трехфазной сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме работы сети в зависимости от активного сопротивления изоляции и емкости проводов с различными значениями R_{3M} ($R_{3M} = 10; 100; 1000$ Ом).

2.1. Исходное положение (включает изменение и дополнения п. 1.1).

При аварийной ситуации происходит замыкание фазного провода на землю через сопротивление растекания тока $R_{ЗМ}$. Для проведения схемы в исходное положение необходимо:

2.1.1. Переключателем « $S_{КЗ}$ » замкнуть один из фазных проводов А, В или С на землю через сопротивление $R_{ЗМ}$ (при этом положение переключателя « $S_{КЗ}$ » и положение ручки вольтметра должно соответствовать подключенной к человеку фазе, т.е. клеммам « X_A » или « X_B » или « X_C »).

2.2. Порядок выполнения работ при исследовании зависимости тока от активного сопротивления изоляции проводов с различными значениями $R_{ЗМ}$.

2.2.1. Сопротивление замыкания фазного провода « $R_{ЗМ}$ » установить на 10 Ом.

2.2.2. Установить переключателями « C_{AE} », « C_{BE} », « C_{CE} », « C_{PEN} » значения емкости проводов равным «0».

2.2.3. Устанавливая переключателями последовательно значения $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN}$: 1,0; 2,5; 10; 25; 100 кОм, измерить ток в цепи тела человека с цифрового индикатора, нажав для этого кнопку «Измерение».

2.2.4. Для исследования влияния сопротивления $R_{ЗМ}$ на значения тока I_h , протекающего через человека, необходимо выполнить действия п.п. 2.2.3 при каждом переключении $R_{ЗМ}$ на 100 и 1000 Ом.

2.3. Порядок выполнения работ при исследовании зависимости тока от емкости проводов с различными значениями $R_{ЗМ}$.

2.3.1. Сопротивление замыкания фазного провода на землю « $R_{ЗМ}$ » установить на 100 Ом.

2.3.2. Установить сопротивление изоляции проводов переключателя H равным $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN} = \infty$.

2.3.3. Установить последовательно значения $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_{PEN}$ равными 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5 ... , измерить ток в цепи человека, считывая показания цифрового индикатора и занося их в таблицу 1.

2.3.4. Для исследования влияния сопротивления $R_{ЗМ}$ на значение тока I_h , протекающего через человека, с измерением емкости проводов, необходимо выполнить действия п.п. 2.3.3 при каждом переключении $R_{ЗМ}$ на 100 и 1000 Ом.

3. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прямом прикосновении к фазному проводу трехфазной

четырёхпроводной сети с заземленной нейтралью при нормальном режиме сети в зависимости от активного сопротивления изоляции и емкости проводов.

3.1. Порядок выполнения работ при исследовании зависимости тока от активного сопротивления изоляции проводов.

3.1.1. Заземлить нейтраль – перевести выключатель « SN » в верхнее положение.

3.1.2. Перевести переключатель « S_{K3} » в положение «0» – нормальный режим.

3.1.3. Сопротивление замыкания фазного провода на землю R_{3M} соответствует положению п.п. 1.1.3, т.е. на 10 Ом.

3.1.4. Ручка регулятора резистора R_H (сопротивление тела человека) остается в положении – «1».

3.1.5. Выполнить действия п.п. 1.2.2 – 1.2.7. Во изменение п.п. 1.2.6 результаты измерений заносятся в таблицу 2.

3.2. Порядок выполнения работ при исследовании зависимости тока от емкости проводов.

3.2.1. Выполнить действия п.п. 1.3.1 – 1.3.2.

3.2.2. Результаты измерений занести в таблицу 2.

4. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прямом прикосновении к фазному проводу трехфазной сети с заземленной нейтралью при аварийном режиме работы сети в зависимости от активного сопротивления изоляции и ёмкости проводов с различными значениями R_{3M} .

4.1. В дополнение к действиям, выполненным переключателем в п. 2, заземлить нейтраль – перевести переключатель « SN » в верхнее положение.

4.2. Все измерения занести в таблицу 2.

4.3. Выключить стенд.

Режим нейтрали и режим работы сети	Активное сопротивление утечки фазных проводов, кОм	Ток в цепи тела человека, А	Емкостная связь фазных проводов с землей, мкФ	Ток в цепи тела человека, А
Изолированная нейтраль, нормальный режим. Сопротивление замыкания фазного провода на землю $R_{3M}=10$ Ом	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=1$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=2,5$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,1$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=10$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,25$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=25$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,5$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=100$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=1,0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=\infty$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=2,5$	
Изолированная нейтраль, аварийный режим. Сопротивление замыкания фазного провода на землю $R_{3M} = 10$ Ом	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=1$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=2,5$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,1$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=10$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,25$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=25$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,5$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=100$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=1,0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=\infty$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=2,5$	
Изолированная нейтраль, аварийный режим. Сопротивление замыкания фазного провода на землю $R_{3M} = 100$ Ом	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=1$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=2,5$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,1$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=10$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,25$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=25$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,5$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=100$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=1,0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=\infty$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=2,5$	
Изолированная нейтраль, аварийный режим. Сопротивление замыкания фазного провода на землю $R_{3M}=1000$ Ом	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=1$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=2,5$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,1$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=10$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,25$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=25$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,5$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=100$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=1,0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=\infty$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=2,5$	

Таблица 2

Режим нейтрали и режим работы сети	Активное сопротивление утечки фазных проводов, кОм	Ток в цепи тела человека, А	Емкостная связь фазных проводов с землей, мкФ	Ток в цепи тела человека, А
Заземленная нейтраль, нормальный режим. Сопротивление замыкания фазного провода на землю $R_{3M} = 10 \text{ Ом}$	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=1$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=2,5$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,1$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=10$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,25$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=25$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,5$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=100$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=1,0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=\infty$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=2,5$	
Заземленная нейтраль, аварийный режим. Сопротивление замыкания фазного провода на землю $R_{3M} = 10 \text{ Ом}$	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=1$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=2,5$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,1$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=10$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,25$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=25$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,5$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=100$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=1,0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=\infty$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=2,5$	
Заземленная нейтраль, аварийный режим. Сопротивление замыкания фазного провода на землю $R_{3M} = 100 \text{ Ом}$	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=1$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=2,5$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,1$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=10$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,25$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=25$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,5$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=100$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=1,0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=\infty$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=2,5$	
Заземленная нейтраль, аварийный режим. Сопротивление замыкания фазного провода на землю $R_{3M} = 1000 \text{ Ом}$	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=1$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=2,5$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,1$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=10$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,25$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=25$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=0,5$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=100$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=1,0$	
	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{NE}=\infty$		$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{NE}=2,5$	

Контрольные вопросы и примеры

1. Какими параметрами сети оценивается опасность прикосновения человека к токоведущим частям?

2. Как влияет протяженность сетей с изолированной нейтралью на значение I_h при однофазном прикосновении?

3. Какая из двух исследованных сетей опаснее при нормальном режиме работы и при замыкании одной фазы на землю? Приведите обоснование.

4. К какому фазному проводу трехпроводной сети с изолированной нейтралью прикосновение опаснее и почему, если провода имеют разную проводимость относительно земли? Используя результаты, полученные в работе, проверьте правильность своего ответа.

5. Почему изменение проводимости фазных проводов относительно земли в сети с заземленной нейтралью практически не влияет на ток через человека при его прикосновении к фазе?

6. Каким сопротивлением относительно земли должны обладать фазные провода трехпроводной сети с изолированной нейтралью, чтобы при прикосновении человека к фазе значение I_h не превышало порогового неотпускающего тока (10 мА), если $U_\phi = 220$ В, $R_h = 1$ кОм?

7. Как изменится ток через человека I_h при однофазном прикосновении к исправному проводу трехпроводной сети с изолированной нейтралью в аварийном режиме, если учесть сопротивление обуви человека $R_{об}$ и пола помещения $R_{п}$?

Дано:

$$U_\phi = 220 \text{ В}; R_h = 1 \text{ кОм}; r_{зм} = 50 \text{ Ом}.$$

а) определить I_h без учета $R_{об}$ и $R_{п}$. Для учета сопротивления обуви можно принять $R_{об} = 1,5 - 800$ кОм (последнее для рваных ботинок с микропористой подошвой).

б) определить I_h , выбрав значение $R_{об}$ и приняв следующее значение сопротивления пола $R_{п}$ (кОм):

- деревянный торцовый пол, сухой – 10000;
- то же, смоченный водой – 20-25;
- бетонный пол, сухой – 75;
- то же, смоченный водой – 1,5.

8. Используя данные, аналогичные данным примера 7, определить значение I_h при однофазном прикосновении к проводу трехпроводной сети с изолированной нейтралью в нормальном режиме при $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ и $r_1 = r_2 = r_3 = r = 10$ кОм.

9. Человек прикоснулся к фазе трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью, $U_\phi = 380$ В; $R_h = 1$ кОм. Определить I_h для двух случаев:

1) при $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ и $r_1 = r_2 = r_3 = r$; значения r принять равными: 5 кОм; 10 кОм; 30 кОм; 50 кОм; 70 кОм;

2) при $C_1 = C_2 = C_3 = C$ и $r_1 = r_2 = r_3 = \infty$; значения C принять равными: 0,04 мкФ; 0,1 мкФ; 05 мкФ; 1,0 мкФ; 1,5 мкФ.

Библиографический список

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: – Энергоиздат, 1984 г.
2. Охрана труда в электроустановках. / Под ред. Князевского Б.А. – М.: Энергоиздат, 1994 г.
3. Юскевич О.И. Производственная безопасность и охрана труда. Учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2005 г.