

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные средства и техносферная безопасность»

**АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА
ПРИ РАБОТЕ НА ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Методические указания к лабораторной работе

Составители В.В. Поляков, А.В. Бутин, С.А. Дмитриев, Ф.А. Кирсанов,

Липецк

Липецкий государственный технический университет

2015

Рецензент: доцент кафедры «Транспортные средства и техносферная безопасность» ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», к.т.н. Федонов А.И.

Анализ условий поражения человека при работе на электроустановка переменного тока: методические указания к лабораторной работе / Поляков В.В. и др. – Липецк: ЛГТУ, 2015. – 40 с.

Предназначен для студентов всех курсов инженерных специальностей. Содержат описание, порядок выполнения и другие необходимые сведения для проведения лабораторной работы, посвященной исследованию электробезопасности труда в электроустановках переменного тока напряжением до 1000 В. Представлены контрольные вопросы по данной теме, и кратко приводятся некоторые справочные данные

Табл. 7. Ил. 7. Библиогр.: 7 назв.

Общие указания

Целью лабораторной работы является изучение и оценка опасного поражения человека электрическим током в различных трехфазных сетях напряжением до 1000 В при прямом и косвенном прикосновении к токопроводящим частям.

При прохождении электрического тока через тело человека опасная для организма величина тока в большой мере зависит от режима работы нейтрали сети.

В нашей стране в трехфазных сетях переменного тока напряжением до 1000 В в основном применяются:

- а) трехпроводные электросети с изолированной от земли нейтралью;
- б) четырех- и пяти проводные электросети с глухозаземленной нейтралью.

Это обычно внутренние электроустановки и сети напряжением 380/220 В, питающие основную массу электроприемников, например, электродвигатели, осветительные приборы и т.п.

Безопасность электроустановок обеспечивается применением ряда защитных мер. К ним относятся: использование низких напряжений (12...42 В), двойной и усиленной изоляции; надлежащий контроль и профилактические испытания, защитное зануление и защитное заземление корпусов электрооборудования; защитное автоматическое отключение случайно оказавшихся под напряжением частей электрооборудования и поврежденных участков сети; использование персоналом СИЗ и предохранительных приспособлений, применение предупредительной сигнализации; надписей и плакатов, защитных ограждений и блокировок аппаратов для предотвращения ошибочных операций.

Под анализом опасности поражения электрическим током понимается определение возможных значений напряжений прикосновения U_h и токов через тело человека I_h в сети с нормальным состоянием изоляции, а также при повреждении изоляции (при замыкании одной из фаз на землю).

Существуют различные схемы прикосновения человека в трехфазной электрической сети переменного тока: двухфазное прикосновение (прямое) - одновременное прикосновение к двум фазным проводникам действующей электроустановки; однофазное прикосновение (прямое) – прикосновение к проводнику одной фазы; косвенное прикосновение к открытым проводящим частям (прикосновение к корпусам электроприемников), которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции. Чаще всего анализируются две последние ситуации.

Рассмотрим однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы (рис. 1).

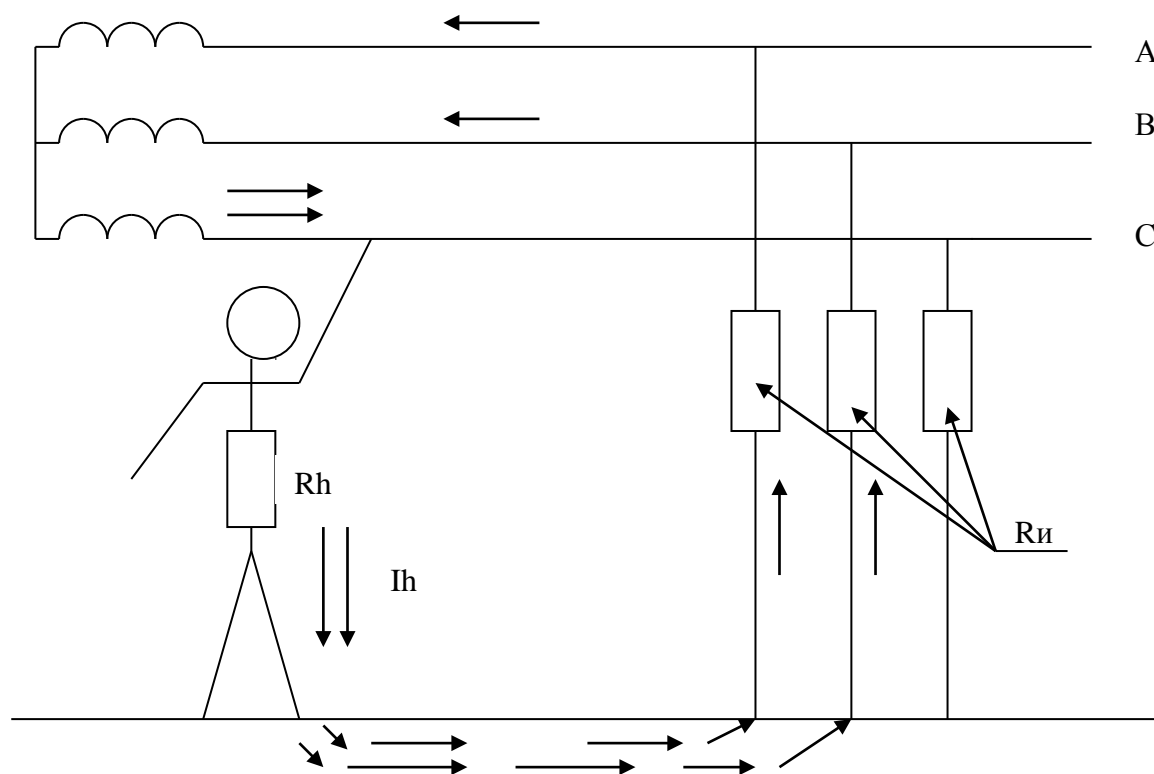


Рис. 1. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы

Для трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ (при равенстве сопротивлений изоляции и емкостей фазных проводов относительно земли) ток через тело человека и напряжение прикосновения описываются следующими выражениями

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

$$U_h = \frac{U \cdot R_h}{R_h + Z/3}, \quad (2)$$

где Z – полное сопротивление фазного провода относительно земли, который определяется по формуле

$$Z = \sqrt{R_u^2 + X_c^2}, \quad (3)$$

где R_u – активное сопротивление изоляции фазного провода относительно земли,

X_c – емкостное сопротивление изоляции фазного провода относительно земли ($X_c = 1/\omega C$),

При равенстве сопротивлений изоляции фазных проводов относительно земли и отсутствии емкостей выражения для тока через человека и напряжения прикосновения упрощаются

$$I_h = \frac{U}{R_h + R_u/3}, \quad (4)$$

$$U_h = \frac{U \cdot R_h}{R_h + R_u/3}, \quad (5)$$

Таким образом, в сетях с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы опасность для человека при прямом однофазном прикосновении зависит от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли. С увеличением сопротивления изоляции и уменьшением емкости фазных проводов относительно земли опасность уменьшается.

При аварийном режиме работы сети (рис.2), когда один из фазных проводов, например, провод В, замкнулся на землю, опасность поражения током человека, прикоснувшегося к исправному фазному проводу, значительно возрастает.

В этом случае ток через тело человека будет равен

$$I_h = \frac{U_{\text{Л}}}{R_h + R_{\text{ЗМ}}}, \quad (6)$$

где R_{3M} – сопротивление растеканию тока в месте замыкания фазного провода на землю (на рис. 2 – фазного провода В).

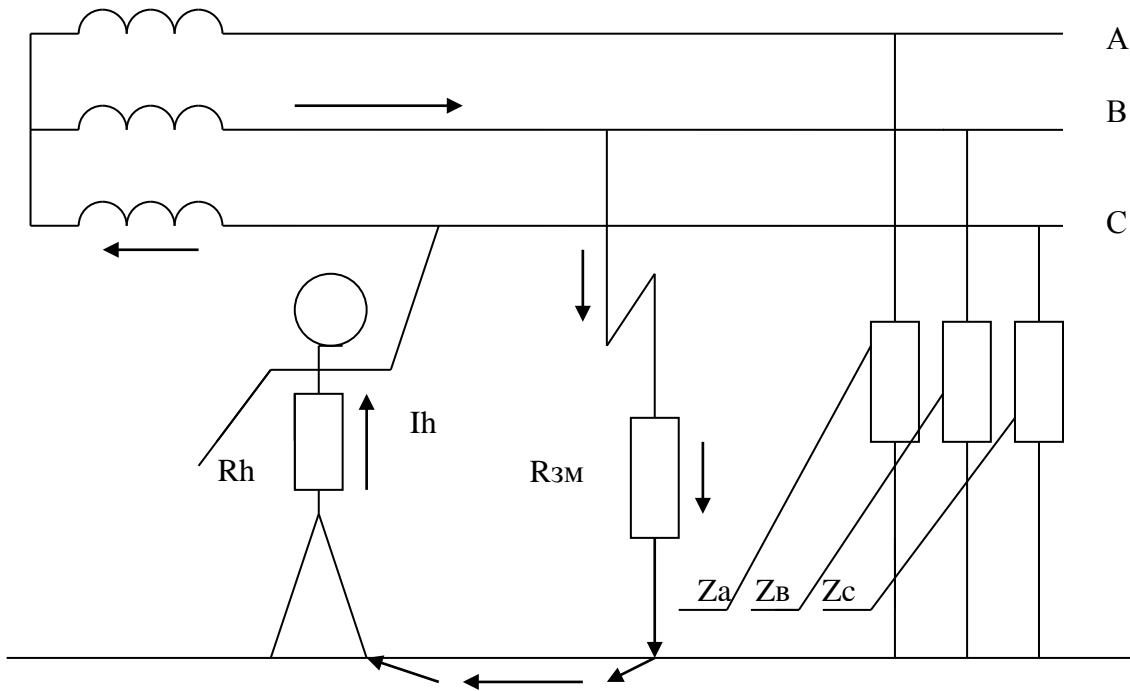


Рис. 2. Однофазное прикосновение к исправному проводу в сети с изолированной нейтралью

Так как обычно выполняется условие $R_{3M} \ll R_h$, то: $I_h = U_{\text{Л}} / R_h$, $U_h = U_{\text{Л}}$.

При аварийном режиме работы вышеуказанной сети, когда человек касается провода, замкнувшегося на землю (рис.3, человек касается фазного провода С), ток через тело человека будет определяться падением напряжения на сопротивлении растеканию тока в месте замыкания на землю R_{3M}

$$I_h = \frac{I_{3M} \cdot R_{3M} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2}{R_h}, \quad (7)$$

где I_{3M} – ток замыкания на землю;

α_1, α_2 – коэффициенты напряжения прикосновения.

При $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$

$$I_h = \frac{I_{3M} \cdot R_{3M}}{R_h}. \quad (8)$$

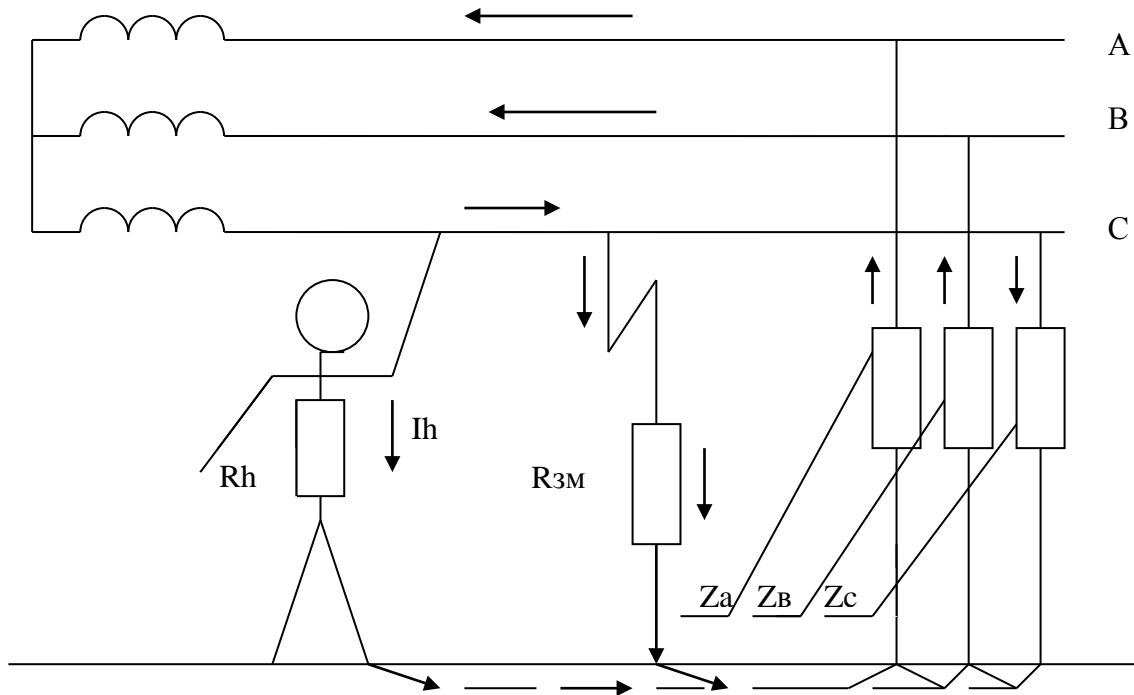


Рис.3. Однофазное прикосновение к неисправному проводу в сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме работы

Ток замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью зависит от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли, сопротивления растеканию R_{3M} и сопротивления тела человека R_h . Если принять во внимание, что обычно $R_{3M} \ll R_h$, то

$$I_{3M} = \frac{U}{R_{3M} + Z/3}. \quad (9)$$

В действительности ток замыкания на землю будет меньше, что более безопасно для человека.

Таким образом, прикосновение к неисправному фазному проводу (замкнувшемуся на землю) в сети с изолированной нейтралью значительно менее опасно, чем к исправному. Значение тока, протекающего через тело человека, в этом случае меньше, чем при прямом однофазном прикосновении в нормальном режиме работы.

Для трехфазной четырехпроводной с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В (рис. 4) значения тока, протекающего через тело человека и

напряжение прикосновения определяются фазным напряжением сети и не зависят от сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли.

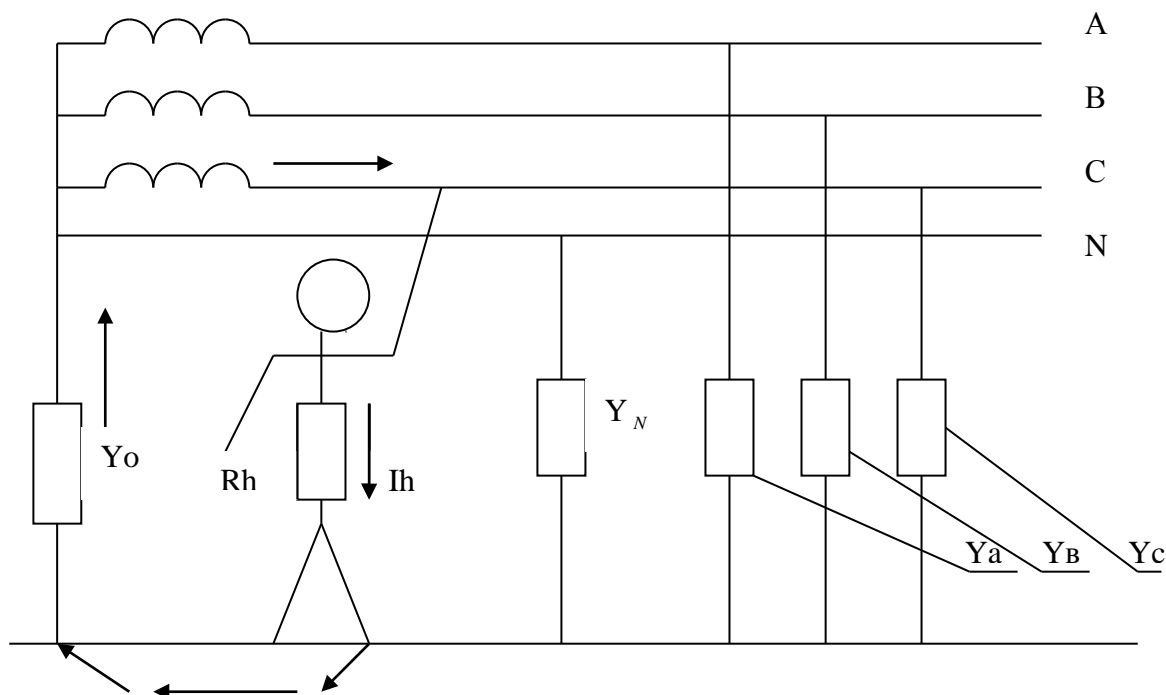


Рис. 4. Однофазное прямое прикосновение в 4-х проводной сети с глухозаземленной нейтралью при нормальном режиме работы

Действительно, проводимости фазного и нулевого проводников относительно земли по сравнению с $Y_0 = 1/R_0$ проводимостью заземления нейтрали малы ($Y_A, Y_B, Y_C \ll Y_0$). При этом выражение для тока, протекающего через тело человека при прикосновении к фазному проводу, при нормальном режиме работы четырехпроводной сети с заземленной нейтралью, принимает вид

$$I_h = \frac{U}{R_h + R_0}, \quad (10)$$

где R_0 - сопротивление рабочего заземления нейтрали.

Напряжение прикосновения в этом случае определяется из уравнения:

$$U_h = \frac{U \cdot R_h}{R_h + R_0}. \quad (11)$$

Так как обычно $R_0 \ll R_h$, то можно считать, что человек в этом случае попадает практически под фазное напряжение сети.

При аварийном режиме, когда один из фазных проводов сети, например, Провод В (рис. 5), замкнут на землю через относительно малое активное сопротивление R_{3M} , а человек прикасается к исправному фазному проводу, уравнение для напряжения прикосновения имеет следующий вид:

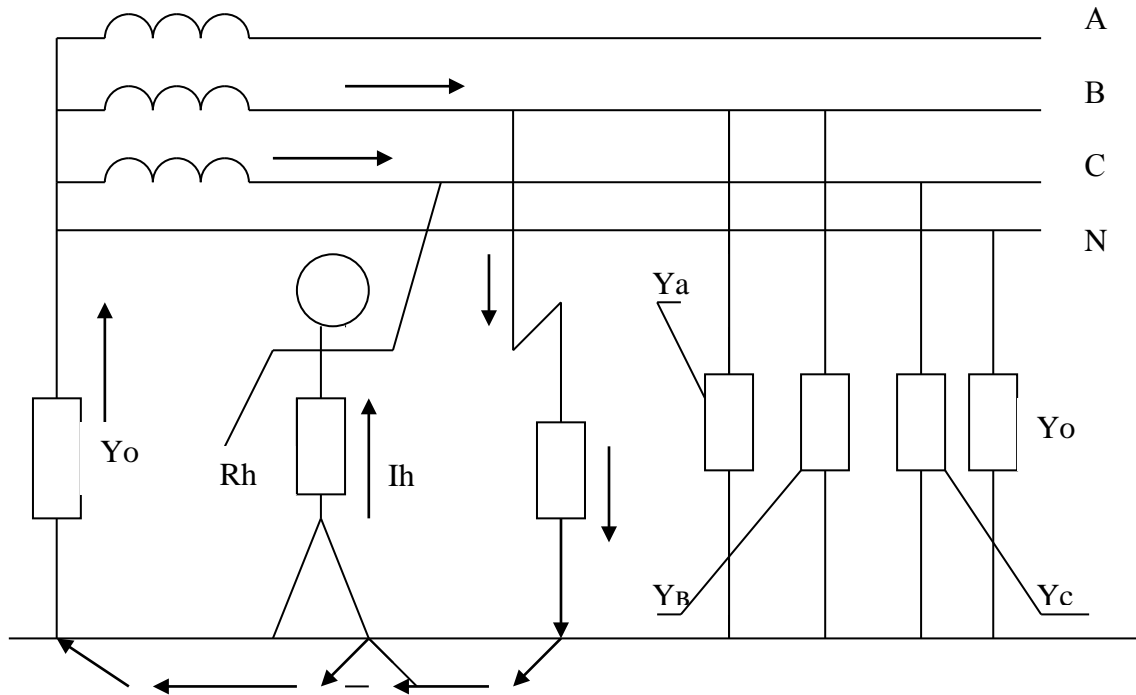


Рис.5. Прикосновение к исправному проводу в 4-хпроводной сети с заземленной нейтралью при аварийном режиме работы

$$U_h = \frac{U \cdot [Y_{3M} \cdot (1 - \alpha) + Y_0]}{Y_{3M} + Y_0 + Y_h}. \quad (12)$$

Здесь учтено, что Y_a , Y_b и Y_N малы по сравнению с Y_0 , а Y_c – по сравнению с Y_0 , и Y_{3M} , т.е. ими можно пренебречь и считать равными нулю.

С учетом того, что $Y_{3M} = 1/R_{3M}$, $Y_0 = 1/R_0$, $Y_h = 1/R_h$, $\alpha = -1/2 + j\sqrt{3}/2$, напряжение прикосновения в действительной форме имеет вид

$$U_h = \frac{U R \sqrt{R_{3M}^2 + 3R_{3M}R_0 + (R_0\sqrt{3})^2}}{R_{3M}R_0 + R_h(R_{3M} + R_0)}. \quad (13)$$

Учитывая, что $3 R_{3M}R_0 \approx 2\sqrt{3} R_{3M}R_0$, предыдущее выражение можно записать как

$$U_h = \frac{U R (R_{3M} + R_0\sqrt{3})}{R_{3M}R_0 + R_h(R_{3M} + R_0)}. \quad (14)$$

При этом выражение для определения тока через тело человека имеет вид

$$I_h = \frac{U (R_{3M} + R_0 \sqrt{3})}{R_{3M} R_0 + R_h (R_{3M} + R_0)}. \quad (15)$$

Рассмотрим два характерных случая:

1. Если принять, что сопротивление замыкания фазного провода на землю $R_{3M} = 0$, то напряжение прикосновения $U_h = U_{\text{л}}$.

Следовательно, в данном случае человек окажется практически под воздействием линейного напряжения сети.

2. Если принять равным нулю сопротивление заземления нейтрали $R_0 = 0$, то $U_h = U$, т.е. напряжение, под которым окажется человек, будет практически равно фазному напряжению.

Однако в реальных условиях сопротивления R_{3M} и R_0 всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийном режиме к исправному фазному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, т.е. напряжение прикосновения U_h всегда меньше линейного, но больше фазного, то есть $U_{\text{л}} > U_h > U$.

С учетом того, что всегда $R_{3M} > R_0$, напряжение прикосновения U_h в большинстве случаев незначительно превышает значение фазного напряжения, что менее опасно для человека, чем в аналогичной ситуации в сети с изолированной нейтралью.

При аварийном режиме работы четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью, когда человек касается провода, замкнувшегося на землю (рис. 6 – человек касается фазного провода С) ток через тело человека будет определяться также, как и в сети с изолированной нейтралью, падением напряжения на сопротивлении растеканию тока в месте замыкания на землю R_{3M}

$$I_h = \frac{I_{3M} R_{3M}}{R_h} \cdot \alpha_1 \alpha_2, \quad (16)$$

где I_{3M} – ток замыкания на землю;

α_1, α_2 – коэффициенты напряжения прикосновения.

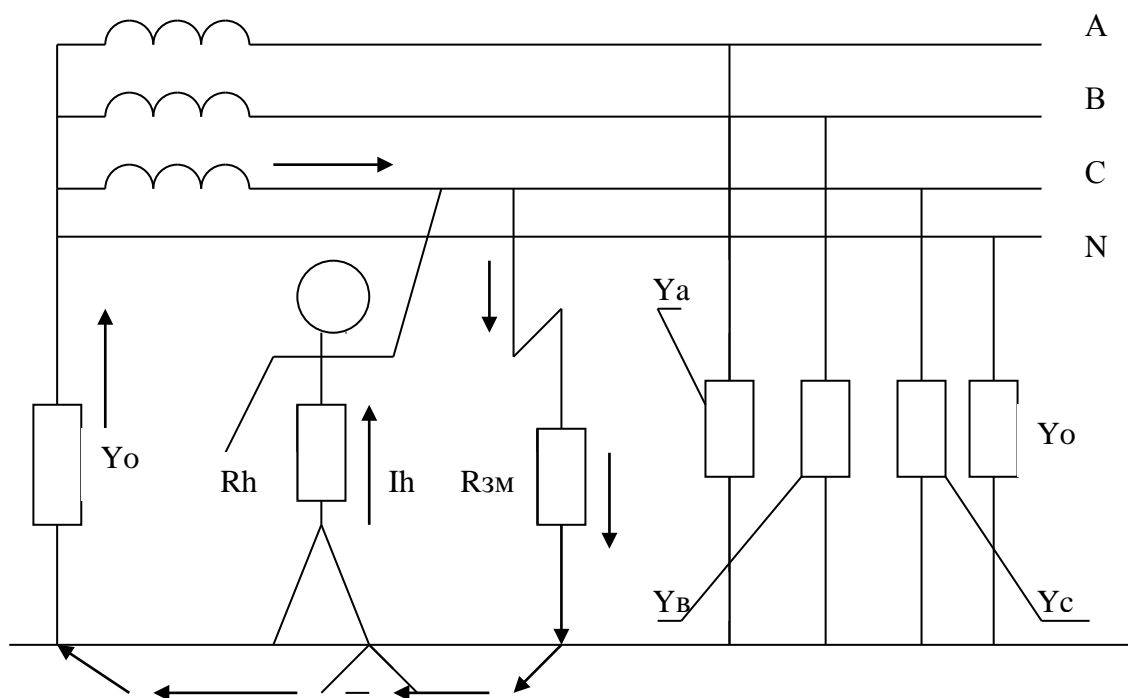


Рис. 6. Прикосновение к неисправному проводу в четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при аварийном режиме работы

При $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$

$$I_h = \frac{I_{3M} R_{3M}}{R_h}. \quad (17)$$

Ток замыкания на землю в четырехпроводной сети с заземленной нейтралью зависит только от сопротивления растеканию тока R_{3M} , сопротивления заземления нейтрали R_o и сопротивления тела человека R_h . Если принять во внимание, что обычно $R_{3M} \ll R_h$, то $I_{3M} = U / (R_{3M} + R_o)$. В этом случае напряжение прикосновения лишь незначительно отличается от значения фазного напряжения.

Таким образом, прикосновение к неисправному фазному проводу (замкнувшемуся на землю) в четырехпроводной сети с заземленной нейтралью, практически также опасно, как к исправному. Значение тока, протекающего через тело человека, в этом случае почти такое же, как при прямом однофазном прикосновении в нормальном режиме работы вышеуказанной сети.

1. Требования к параметрам электрического тока при аварийном

режиме производственных электроустановок до 1 кВ

Действующий стандарт (ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ) устанавливает предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1 кВ в зависимости от времени воздействия (таблица 1)

Таблица 1.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме (ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ)

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
Переменный 50 Гц	U, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	I, мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6

На исход поражения электрическим током влияют:

- напряжение и частота сети;
- режим нейтрали сети (изолированная или заземленная);
- схема включения человека в электрическую цепь;
- сопротивление изоляции фазных проводов сети относительно земли;
- емкости фазных проводов сети относительно земли;
- сопротивление тела человека, сопротивление обуви человека и сопротивление пола;
- режим работы сети.

2. Применяемые приборы и методы измерения

Для проведения работы применяется лабораторный стенд «**Электробезопасность в системах электроснабжения**», представляющий собой модель трехфазной электрической сети со средствами защиты от сверхтоков, средствами защиты от дифференциальных токов, тремя электропотребителями, моде-

лю человека, заземлителями с постоянным и изменяемыми сопротивлениями, цифровыми измерителями времени, тока и напряжения в различных точках стенда, контролем изоляции фаз в сети с изолированной нейтралью.

Внешний вид лицевой панели стенда со схемой и органами управления приведен на рис. 7.

Питание стенда осуществляется от однофазной сети переменного тока 220 В 50 Гц. Включение производится с помощью выключателя «Сеть» на лицевой панели стенда.

Внимание! Для измерений использовать только встроенные в стенд измерительные приборы!

Стенд оснащен специальными гнездами и переключками, позволяющими моделировать различные режимы нейтрали и варианты заземления или зануления открытых токопроводящих частей оборудования.

Поскольку время срабатывания защиты при возникновении коротких замыканий зачастую не превышает долей секунды, в стенде предусмотрен специальный режим «Режим аварии», позволяющий измерять токи и напряжения, существовавшие на момент срабатывания защиты, сколь угодно долго. Для перехода в этот режим нажмите соответствующую кнопку. Выход из режима производится повторным нажатием кнопки. «Режим аварии» сбрасывается

Внимание! «Режим аварии» доступен только после срабатывания защиты и при условии, что не изменялось положение переключателей, автоматов, перемычек и замыкание фазных проводов на корпуса электроустановок.

Измерение напряжений производится путем подключения входных гнезд вольтметра к любым контрольным точкам стенда с помощью проводов, входящих в комплект стенда.

Амперметры (А1 – А7) для измерения токов в конкретных цепях схемы изображены на лицевой панели стенда. Для индикации показаний всех амперметров используется один общий индикатор.

Выбор одного из семи амперметров и подключение его к индикатору производится нажатием на соответствующую кнопку. О подключении амперметра свидетельствует свечение светодиода. Повторное нажатие отключает амперметр. Нажатие на кнопку любого амперметра незамедлительно подключает его к индикатору. При этом предыдущий амперметр отключается автоматически.

Номинальные значения элементов схемы приведены на лицевой панели.

Сопротивления фазных проводов

$$R_{L11} = R_{L21} = R_{L31} = R_{L12} = R_{L22} = R_{L32} = R_{L13} = R_{L23} = R_{L33} = 0,05 \text{ Ом} .$$

Номинальный ток автоматических выключателей Q1 и Q2 составляет 32 А.

Номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО составляет 30 мА.

3. Устройство стенда

Функциональное назначение органов управления стендом следующее:

- 1 – гнездо **X 1** для измерения напряжения на нейтрали;
- 2 – выключатель с подсветкой «Сеть» (замыкание-размыкание переключателя **XS2**) для включения-выключения стенда;
- 3 – светодиодные индикаторы наличия напряжения в линиях **L1, L2, L3** трехфазной сети;
- 4 – **XS21** – переключатель значений активных сопротивлений изоляции фаз сети относительно земли $R_{и} = R_{L1} = R_{L2} = R_{L3}$ (1 кОм; 5 кОм; 10 кОм; 100 кОм; ∞);
- 5 – **XS25** – переключатель значений емкости фаз сети $C_{и} = C_{L1} = C_{L2} = C_{L3}$ (0; 0,1; 0,5; 1,0; 2,0 мкф) относительно земли;
- 6 – гнезда **XS3** – для подключения к нейтрали нулевого рабочего проводника N;
- 7 – гнезда **XS4** для имитации обрыва (перемычка убрана) нулевого защитного проводника PE между точками подсоединения к нейтрали и потребителю «K1» (через R_{PE1});
- 8 – гнездо **X5** для измерения напряжения в точке подсоединения потребителя «K1» к нулевому защитному проводнику PE;
- 9 – гнезда **XS9** для совмещения в одном проводнике нулевого защитного и нулевого рабочего проводников или их разделения;
- 10 – гнезда **XS10** для имитации обрыва (перемычка убрана) нулевого защитного проводника PE между точками подсоединения к потребителю «K1» и потребителю «K2» (через R_{PE2});
- 11 – **XS11** – переключатель значений сопротивлений (0,1; 0,2; 0,5 Ом) участков PE и N проводников R_{PE2} и R_{N2} («K1» - «K2»);
- 12 – гнездо **X8** для измерения напряжения в точке подсоединения корпуса электроустановки «K2» к нулевому защитному проводнику PE;

13 – гнезда **XS15** для совмещения в одном проводнике нулевого защитного и нулевого рабочего проводников или их разделения;

14 – гнезда **XS16** для имитации обрыва (перемычка убрана) нулевого защитного проводника РЕ между точками подсоединения к потребителю «К2» и потребителю «К3» (через R_{PE3});

15 – гнездо **X11** для измерения напряжения на нулевом рабочем проводнике N;

16 – гнездо **X12** для измерения напряжения в точке подсоединения в точке электроустановки «К3» к нулевому защитному проводнику РЕ;

17 – гнезда **XS24** для совмещения в одном проводнике нулевого защитного и нулевого рабочего проводников;

18 – индикатор времени в секундах (с), прошедшего от нажатия кнопки «Авария», вызывающей срабатывание защиты, до срабатывания защиты (отключение автомата Q1, Q2 или Q3);

19 – индикатор тока, протекающего в цепи, выбранной с помощью кнопок A1 - A7, находящихся рядом с изображением амперметров на мнемосхеме стенда; на соответствующее место подключения амперметра указывает загоревшийся на мнемосхеме индикатор;

20 – индикатор напряжения между любыми точками схемы, имеющими контактные гнезда X1 - X12, X14 – X15, подключенными ко входным гнездам вольтметра (V);

21 – входные гнезда вольтметра;

22 – автоматический выключатель с защитой от сверхтоков **Q1** для подключения потребителя «К1» к сети;

23 – гнездо **X3** для измерения напряжения в линии L1 - (A) трехфазной сети;

24 – гнездо **X4** для измерения напряжения на корпусе «К1»;

25 – светодиодный индикатор и кнопка «Авария» для замыкания фазного провода L1 на корпус электроустановки «К1» (**XS6**);

26 – кнопка и светодиод для вывода величины тока, протекающего через амперметр **A1** на индикатор 19;

27 – гнезда **XS7** для установки перемычки и подключения корпуса электроустановки «K1» к нулевому защитному проводнику PE;

28 – гнезда XS8 для установки перемычки и подключения корпуса электроустановки «K1» к заземляющему устройству с сопротивлением R_{SAS1} ;

29 – кнопка и светодиод для вывода величины тока, протекающего через амперметр **A2** на индикатор 19;

30 – автоматический выключатель с защитой от сверхтоков Q2 для подключения потребителя «K2» к сети;

31 – гнездо **X6** для измерения напряжения в линии L2 (B) трехфазной сети;

32 – гнездо **X7** для измерения напряжения на корпусе «K2»;

33 – светодиодный индикатор и кнопка «Авария» для замыкания фазного провода L2 на корпус электроустановки «K2» (**XS12**);

34 – кнопка и светодиод для вывода величины тока, протекающего через амперметр **A3** на индикатор 19;

35 – гнезда **XS13** для установки перемычки и подключения корпуса электроустановки «K2» к нулевому защитному проводнику PE;

36 – гнезда **XS14** для установки перемычки и подключения корпуса электроустановки «K2» к заземляющему устройству с сопротивлением R_{SAS2} ;

37 – кнопка и светодиод для вывода величины тока, протекающего через амперметр **A4** на индикатор 19;

38 – гнезда XS17 для установки перемычки и повторного заземления PE-проводника через R_{SAS2} ;

39 – устройство защитного отключения (УЗО) дифференциального типа **Q3** для подключения потребителя «K3» к сети;

40 – гнездо **X9** для измерения напряжения в линии **L3 – (C)** трехфазной сети;

41 – гнездо **X10** для измерения напряжения на корпусе «K3»;

42 – **XS20** – переключатель значений сопротивления замыкания фазы L3 при аварии в потребителе «K3» R_{3M} (0,1; 1; 3; 6,8; 15 кОм);

43 – светодиодный индикатор и кнопка «Авария» для замыкания фазного провода L3 на корпус электроустановки «К3» (**XS19**);

44 – кнопка и светодиод для вывода величины тока, протекающего через амперметр **A5** на индикатор 19;

45 – гнезда **XS22** для установки перемычки и подключения потребителя «К3» к нулевому защитному проводнику PE;

46 – гнезда **XS23** для установки перемычки и подключения потребителя «К3» к заземляющему устройству с сопротивлением R_{SAS3} ;

47 – кнопка и светодиод для вывода величины тока, протекающего через амперметр **A6** на индикатор 19;

48 – гнезда **XS1** для установки перемычки и моделирования сети с заземленной или изолированной нейтралью;

49 – гнезда «Земля» **X2**;

50 – светодиодный индикатор включения «**Режим аварии**»;

51 – кнопка «**Режим аварии**», нажатие на которую после срабатывания защиты позволяет произвести измерение токов и напряжений на момент аварии;

52 – **XS18** – переключатель значений сопротивления заземления потребителя «К2» или сопротивления повторного заземления PE- проводника R_{SAS2} (4; 10; 100 Ом);

53 – гнездо **X13** для подключения человека к фазному проводу действующей электроустановки (X3, X6, X9) или к открытым проводящим частям (X4, X7, X10), оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции (прикосновение к корпусу потребителя электроэнергии с поврежденной изоляцией);

54 – гнездо **X14** для подключения вольтметра и измерения напряжения, приложенного к человеку при прикосновении;

55 – кнопка и светодиод для вывода величины тока, протекающего через человека (амперметр **A7**) на индикатор 19;

56 – гнездо **X15** для подключения вольтметра и измерения напряжения, приложенного к модели человека при прикосновении;

57 – XS26 – переключатель значений сопротивления пола и обуви человека $R_{об+пола}$ (1; 5; 10; 100; 300 кОм);

58 – индикатор устройства контроля изоляции – отражает эффективное активное сопротивление изоляции трех фаз сети, измеренное с помощью трех-вентильной схемы, в сети с изолированной нейтралью.

4. Меры электробезопасности

1. Перед работой на стенде «**Электробезопасность в системах электро-снабжения**» допускаются студенты, проинструктированные по первичному инструктажу на рабочем месте с оформлением в журнале лаборатории кафедры ТС и ТБ по охране труда, ознакомленные с принципом действия и опасностями работы на стенде.

2. Кабель питания стенда подключается только к розетке с нулевым защитным, заземляющим проводником.

3. Все осмотры, ремонт и наладки стенда проводятся только после отключения его от питающей сети.

4. Запрещено работать на стенде при открытых крышках и снятом кожухе.

5. Выполнение работы проводится бригадой количеством не менее двух человек, один из которых является наблюдателем и при возникновении опасности отключает стенд.

5. Подготовка стенда к работе

Включаем стенд с помощью выключателя «Сеть». При этом будет под-свечиваться выключатель «Сеть» и заработают светодиодные индикаторы наличия напряжения в линиях L1, L2, L3 - (А, В, С) трехфазной сети.

Устанавливаем переключателем XS11 значение сопротивления участков PE и N проводников $R_{N2} = R_{PE2} = 1 \text{ кОм}$.

6. Порядок выполнения работы

6.1. Оценим опасность поражения электрическим током при прямом прикосновении человека к токопроводящим частям под напряжением, в сетях с изолированной нейтралью в рабочем режиме и аварийном режиме при замыкании фаз на заземленные корпуса электрооборудования.

Для этого моделируем сеть с изолированной нейтралью установкой перемычек в гнезда XS8, XS14, XS23 и убеждаемся, что сняты перемычки XS1, XS3, XS4, XS7, XS9, XS10, XS13, XS15, XS16, XS17, XS22, XS24.

В случае ошибок при установке перемычек будет мигать светодиод «Режим аварии».

Включаем автоматические выключатели Q1, Q2 и устройство защитного отключения Q3.

Устанавливаем переключателем XS25 емкость фаз сети относительно земли $C_H = 0$.

С помощью переключателей XS21 устанавливаем величину активного сопротивления изоляции фазных проводов $R_H = 1 \text{ кОм}$.

Начинаем действия по оценке опасности поражения:

1 – устанавливаем переключателем XS26 сопротивление обуви и пола $R_{\text{об+пола}} = 1 \text{ кОм}$;

2 – моделируем прямое прикосновение человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением, в исправной сети; соединяем проводами из комплекта стенда гнездо X13 с фазным проводом L2 (В) электроустановки «К2» (гнездо 6);

3 – подсоединяем входы вольтметра проводами из комплекта стенда к гнездам X14 и X15;

4 – записываем напряжение прямого прикосновения к фазному проводу в исправной сети U_h (показание вольтметра);

5 – нажимаем кнопку А7 (засветится светодиодный индикатор А7) и измеряем ток через тело человека I_h при прямом прикосновении к исправной сети;

6 – изменяя последовательно с помощью переключателя XS21 значение сопротивления изоляции R_{II} от 1 кОм до бесконечности, снимем зависимость напряжения прямого прикосновения и тока через человека от величины сопротивления изоляции $U_h = f(R_{II})$ и $I_h = f(R_{II})$;

7 – изменяя последовательно с помощью переключателя XS25 значение емкости фаз относительно земли C_{II} от 0 до 2 мкФ, снимем зависимость напряжения прямого прикосновения и тока через человека от величины емкости фаз относительно земли $U_h = f(C_{II})$ и $I_h = f(C_{II})$;

8 – смоделируем аварию в сети замыканием фазного провода L1 на корпус электроустановки «K1» нажмем кнопку «Авария», находящуюся на изображении потребителя «K1» (засветится светодиод на изображении «K1»;

9 – запишем напряжение прямого прикосновения в неисправной сети, и величину тока, протекающего через человека (нажмем кнопку А7 амперметра А7);

10 – изменяя последовательно с помощью переключателей XS21 и XS25 значения сопротивления изоляции R_{II} и емкости фаз относительно земли C_{II} , убедимся, что в аварийной сети с изолированной нейтралью напряжение прикосновения и ток через тело человека не зависят от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли;

11 – изменяя сопротивление пола и обуви человека с помощью переключателя XS26, снимем зависимость напряжения прямого прикосновения и тока через человека от сопротивления обуви и пола в аварийной сети;

12 – устраняем замыкание фазного провода L1 на корпус электроустановки «K1» нажатием кнопки «Авария», находящейся на изображении потребителя «K1» (погаснут светодиоды на изображении «K1»);

13 – сделаем выводы о параметрах, влияющих на величину тока через тело человека при прямом прикосновении его к токопроводящим фазам, находящимся под напряжением, в сетях с изолированной нейтралью в рабочем режиме и аварийном режиме при замыкании одной из фаз на заземленный корпус электрооборудования.

6.2. Оценим опасность поражения электрическим током при косвенном прикосновении человека к токопроводящим частям, находящимся под напряжением, в сетях с изолированной нейтралью

1 – установим переключателем XS26 сопротивление обуви и пола $R_{об+пола} = 1 \text{ кОм}$;

2 – моделируем прикосновение человека к корпусу электроустановки «K2», подключив провод, идущий от модели человека (гнездо X13), на гнездо X7;

3 – с помощью переключателей XS21 и XS25 установим величину сопротивления изоляции фаз равной $R_{II} = 10 \text{ кОм}$ и емкости фаз L1, L2, L3 относительно земли $C_{II} = 0 \text{ мкФ}$;

4 – проведем замыкание фазного провода L2 на корпус электроустановки «K2» – нажмем кнопку «Авария», находящуюся на изображении потребителя «K2» (засветится светодиод на изображении «K2»);

5 – изменяя с помощью переключателя XS18 значение сопротивления заземлителя R_{3432} , снимем зависимость напряжения косвенного прикосновения U_h , тока через тело человека I_h (нажав кнопку A7) и тока короткого замыкания I_{32} (нажав кнопку A4) от величины сопротивления заземлителя: $U_h = f(R_{3432})$, $I_h = f(R_{3432})$, и $I_{32} = f(R_{3432})$;

6 – устраним замыкание фазного провода L2 на корпус электроустановки «K2», нажав кнопку «Авария», находящуюся на изображении потребителя «K2» (погаснет светодиод на изображении «K2»);

7 – делаем выводы о параметрах, влияющих на величину тока через заземлитель и, соответственно, на величину напряжения на корпусе аварийного потребителя.

6.3. Оценим опасность поражения электрическим током при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением, в сетях с глухозаземленной нейтралью в рабочем режиме и аварийном режиме при замыкании фаз на заземленные корпуса электрооборудования.

1 - собираем трехфазную четырехпроводную цепь с заземленной нейтралью, установив перемычки в гнезда XS1, XS3, XS9, XS15, XS24, XS7, XS13, XS22. Убеждаемся, что сняты перемычки XS4, XS10, XS16, XS8, XS14, XS23 и перемычка повторного заземления XS17 (*в случае ошибок при установке перемычек будет мигать светодиод «Режим аварии»*);

2 – убеждаемся, что включены автоматические выключатели Q1, Q2 и устройство защитного отключения Q3;

3 – устанавливаем переключателем XS26 сопротивление обуви и пола $R_{\text{ОБ+ПОЛА}} = 1 \text{ кОм}$;

4 – моделируем прямое прикосновение человека к токопроводящим частям под напряжением в исправной сети, соединим проводами из комплекта стенда модель человека, гнездо X13, с фазным проводом L1 электроустановки «K1» - гнездо X3;

5 – подсоединяем входы вольтметра проводами из комплекта стенда к гнездам X14 и X15;

6 – записываем напряжение прямого прикосновения U_h к фазному проводу в исправной сети;

7 – нажимаем кнопку A7 (засветится светодиодный индикатор A7) и измеряем ток через тело человека I_h при прямом прикосновении к исправной сети;

8 – изменяя последовательно с помощью переключателей XS21 и XS25 значения сопротивления изоляции R_{II} и емкости фаз относительно земли C_{II} , убедимся, что в исправной четырехпроводной трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью напряжение прикосновения и ток через тело человека не зависят от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли $U_h = f(R_{II})$, $I_h = f(R_{II})$, $U_h = f(C_{II})$, $I_h = f(C_{II})$;

9 – изменяя переключателем XS26 сопротивление пола и обуви человека, снимем зависимость напряжения прямого прикосновения и тока через человека от сопротивления обуви и пола в исправной сети с заземленной нейтралью $U_h = f(R_{\text{ОБ+ПОЛА}})$ и $I_h = f(R_{\text{ОБ+ПОЛА}})$: *обращаем внимание на то, что прямое прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на оборудовании, защищенном автоматическими выключателями в исправной сети с заземленной нейтралью не вызывает срабатывания защиты; степень опасности прямого прикосновения в исправной сети с заземленной нейтралью определяется в основном состоянием обуви и проводимостью пола;*

10 – с помощью переключателей XS21 и XS25 устанавливаем величину сопротивления изоляции фаз равной $R_{II} = 10 \text{ кОм}$ и емкости фаз L1, L2 и L3 относительно земли равной $C_{II} = 0 \text{ мкФ}$;

11 – моделируем аварию в сети замыканием фазного провода L2 на «K2» – нажимая кнопку «Авария», находящуюся на изображении потребителя «K2» (засветится светодиод на изображении «K2»);

12 – после срабатывания автомата защиты Q2 записываем показания секундомера (время срабатывания автомата защиты Q2) и амперметра (ток короткого замыкания), затем нажимаем кнопку «Режим аварии» (засветится светодиод рядом с кнопкой «Режим аварии»);

13 – записываем напряжение прямого прикосновения к линии L1 в исправной сети в момент аварии на линии L2 (показания вольтметра);

14 – нажимаем кнопку A7 (засветится светодиодный индикатор A7) и измеряет ток через тело человека при прямом прикосновении к фазе L1 в исправной сети в момент аварии на фазе L2;

15 – изменяя сопротивление пола и обуви с помощью переключателя XS26, снимаем зависимость напряжения прямого прикосновения и тока через человека от сопротивления пола и обуви в аварийной сети с заземленной нейтралью;

16 – устраняем замыкание фазного провода L2 на корпус электроустановки «K2», нажимая кнопку «Авария», находящуюся на изображении потребителя «K2» (погаснут светодиоды на изображении «K2» и рядом с кнопкой «Режим аварии») и включаем автомат защиты Q2;

17 – Сравниваем степень опасности прямого прикосновения в исправной и аварийной сети с заземленной нейтралью и делаем выводы.

6.4. Оценим опасность поражения электрическим током при косвенном прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением в сетях с заземленной нейтралью.

1 – устанавливаем переключателем XS26 сопротивление обуви и пола $R_{\text{об+пола}} = 1 \text{ кОм}$;

2- моделируем прикосновение человека к электроустановке «K1», переключив провод, идущий от модели человека (гнездо X13), с гнезда X3 на гнездо X4;

3 – производим замыкание фазного провода L1 на «K1», нажимая кнопку «авария», находящуюся на изображении потребителя «K1» (засветится светодиод на изображении «K1»);

4 – после срабатывания автомата защиты Q1 записываем время срабатывания защиты и ток короткого замыкания (показания амперметра), затем нажимаем кнопку «Режим аварии» (засветится светодиод рядом с кнопкой);

5 – записываем показания вольтметра – напряжение прикосновения человека к электроустановке «K1», в которой произошло замыкание;

6 – нажимаем кнопку A7 (включится светодиод на изображении амперметра A7) и записываем ток через тело человека при косвенном прикосновении;

7 – устраняем замыкание фазного провода L1 на корпус электроустановки «K1», нажав кнопку «Авария», находящуюся на изображении потребителя «K1» (погаснут светодиоды на изображении «K1» и рядом с кнопкой «Режим аварии»), включаем автомат защиты Q1;

8 – сравниваем степень опасности прямого и косвенного прикосновения в сети с заземленной нейтралью и делаем выводы;

Сравниваем степень опасности прямого прикосновения в сетях с изолированной и заземленной нейтралью и делаем выводы.

Сравниваем степень опасности косвенного прикосновения в сетях с изолированной и заземленной нейтралью и делаем выводы.

7. Содержание отчета

Отчет должен содержать принципиальные схемы исследуемых режимов, результаты измерений, краткие выводы по каждому из разделов измерений.

8. Контрольные вопросы

1. какие параметры влияют на величину тока, проходящего через тело человека во время поражения электрическим током?

2. Что такое «нейтраль» в трехфазной сети переменного тока?

3. Нарисуйте и поясните схему трехфазной сети переменного тока с изолированной нейтралью (укажите варианты схем).

4. Нарисуйте и поясните схему трехфазной сети переменного тока с заземленной нейтралью (укажите варианты схем).

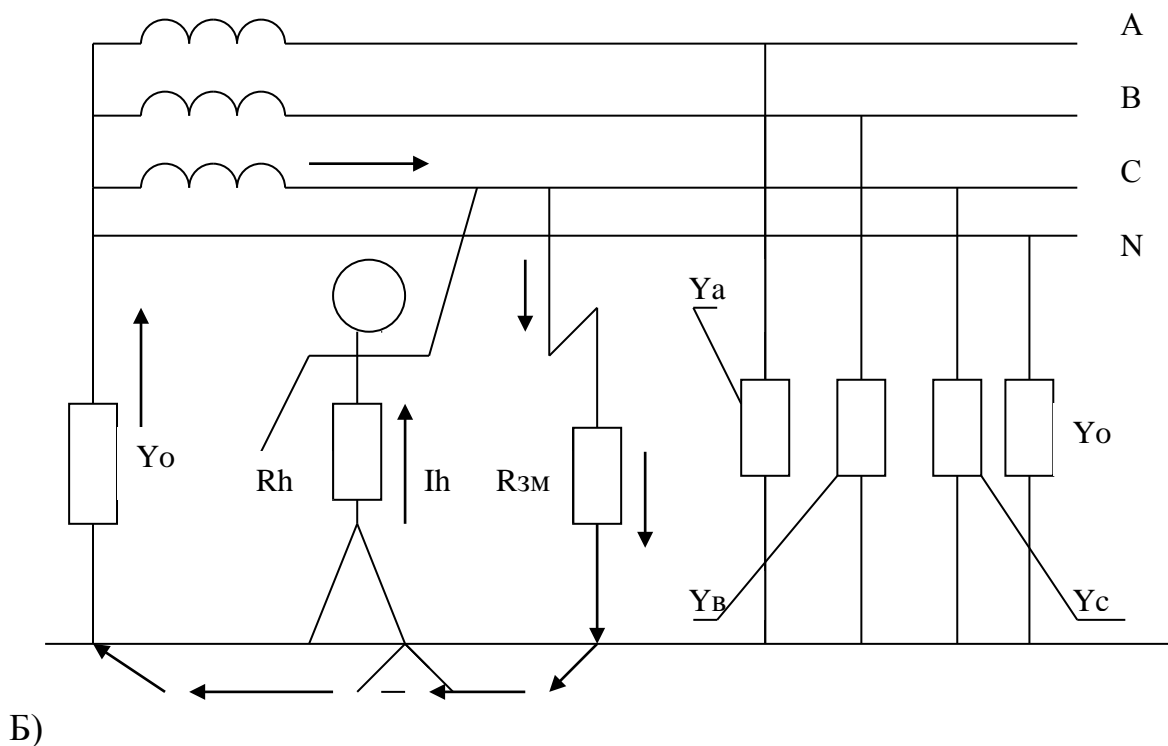
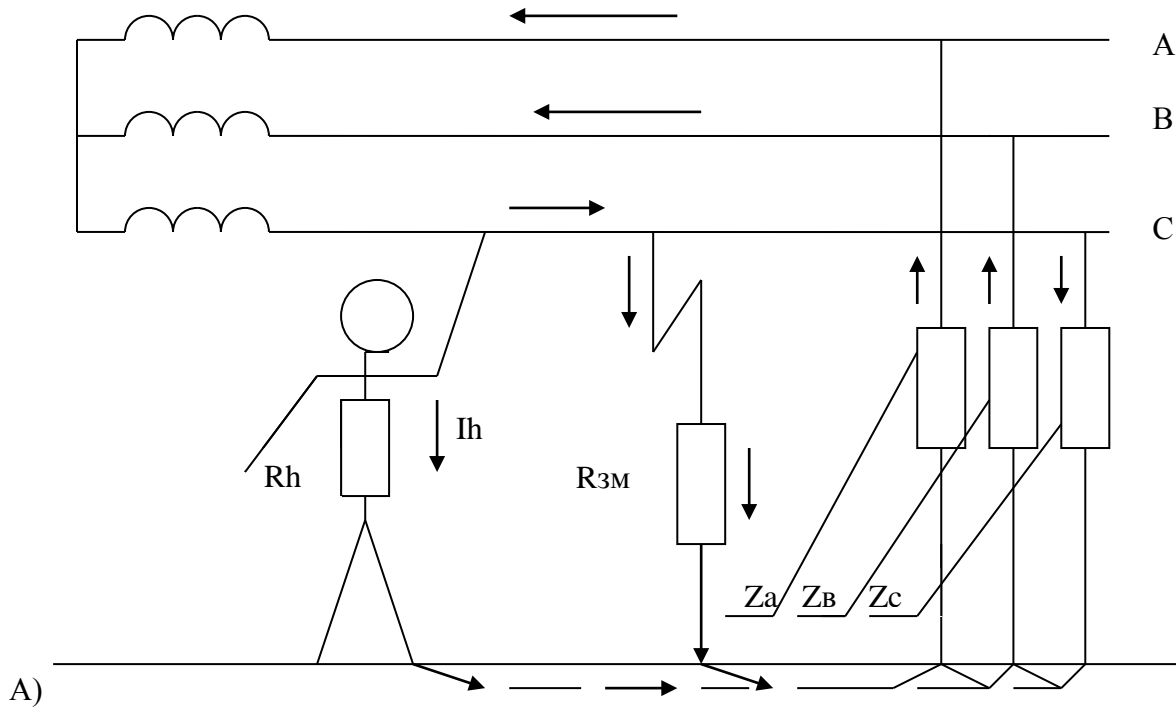
5. Как определяется ток через тело человека, прикоснувшегося к одной из фаз сети с изолированной нейтралью, находящейся под напряжением?

6. Как изменяются условия электробезопасности в сети с изолированной нейтралью в аварийном режиме?

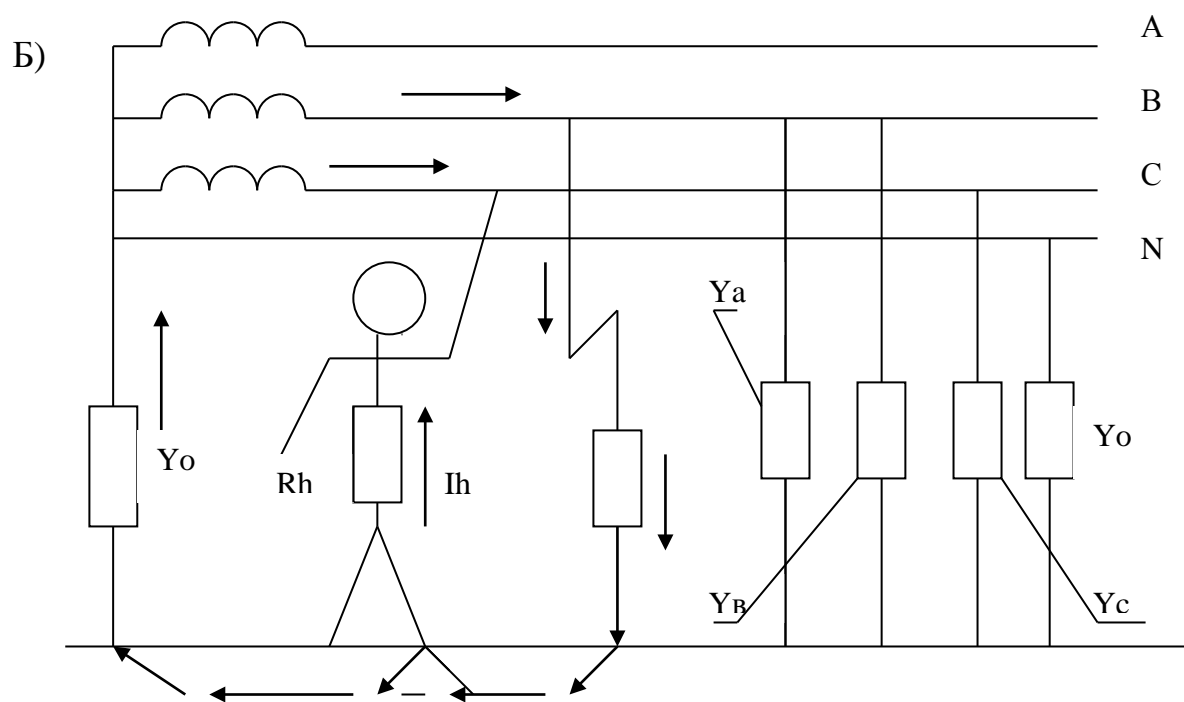
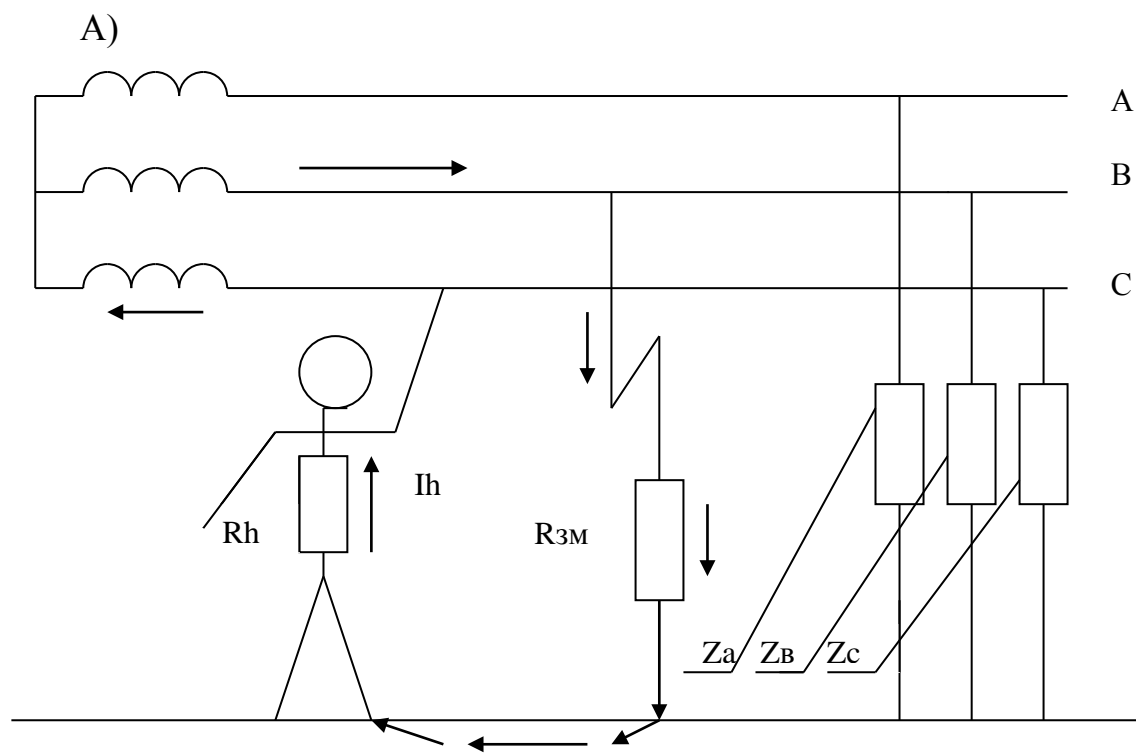
7. Как определяется ток через тело человека, прикоснувшегося к одной из фаз сети с заземленной нейтралью?

8. Как изменятся условия электробезопасности в аварийном режиме в сети с заземленной нейтралью?

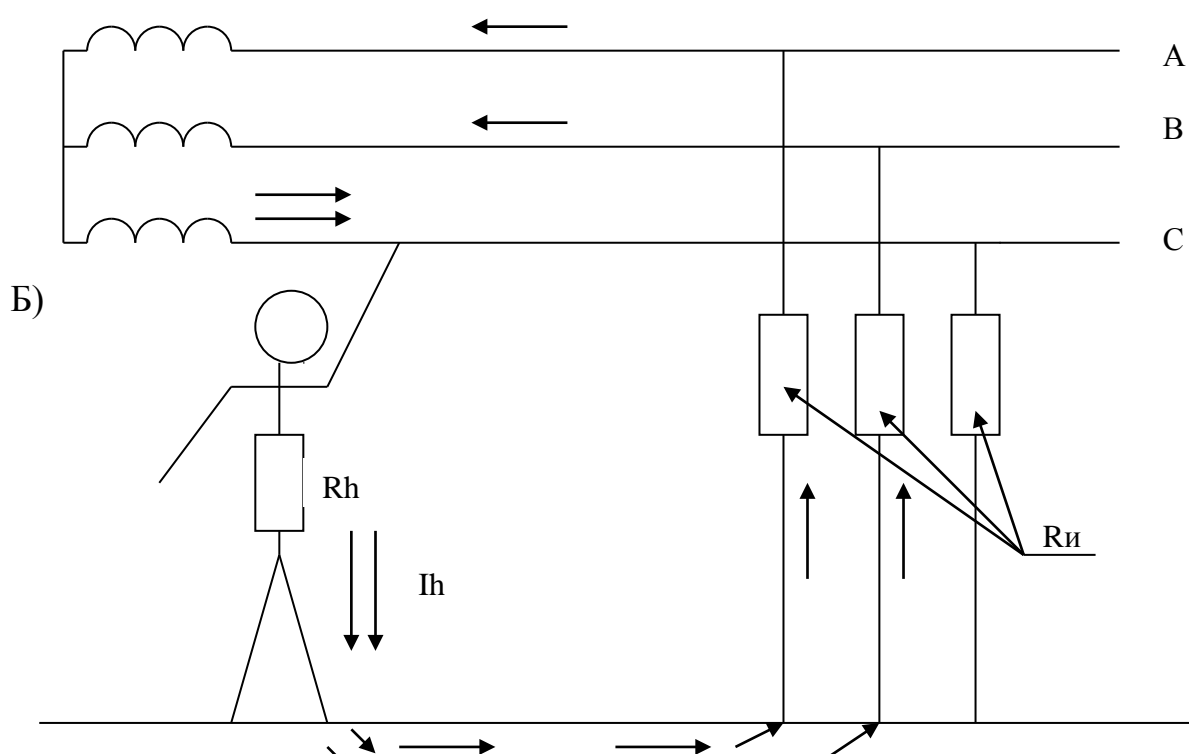
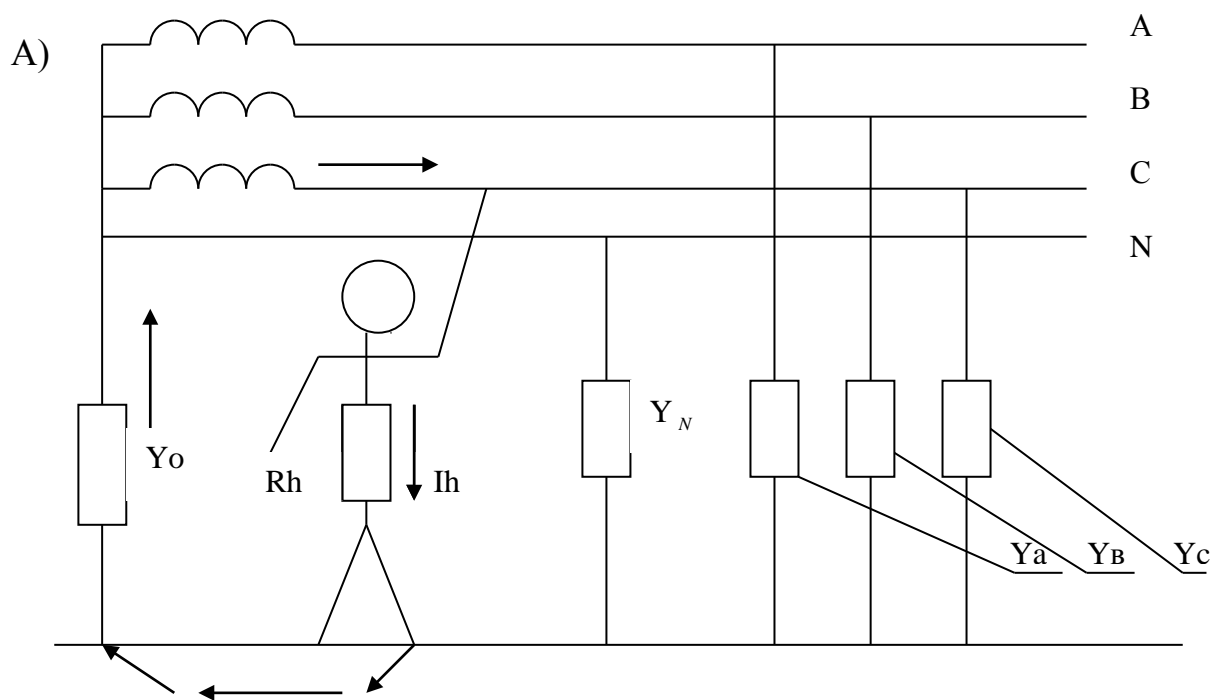
9. В каком случае прикосновение опаснее:



10. В каком случае прикосновение опаснее:



11. В каком случае прикосновение опаснее:



А; Б; одинаково опасны

Библиографический список

1. ГОСТ 12.1.009-78 ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.
2. ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
3. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
4. Князевский Б.А. и др. Охрана труда в электроустановках. М. Энергия, 1977.
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание 7, 2002.
6. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М. Энергоатомиздат, 1984.
7. ГОСТ 12.4.113-82 ССБТ. Работа учебных лабораторий. Общие требования безопасности [Текст]. М.: Госстандарт, 1982. – 6 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

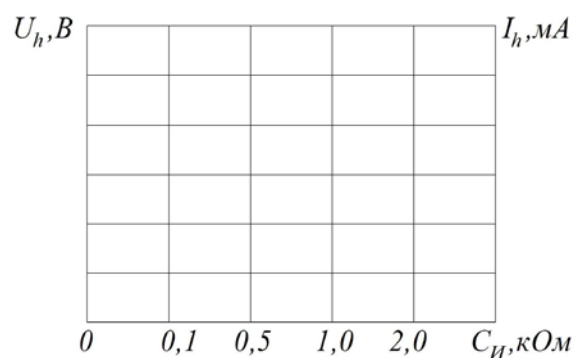
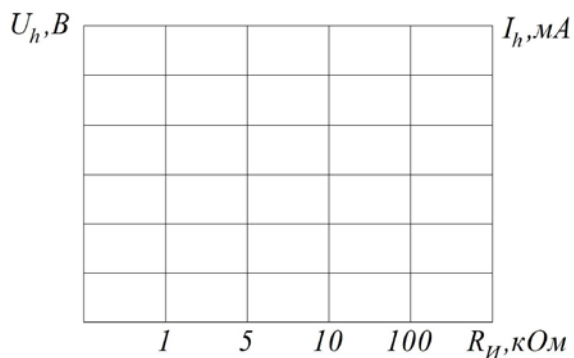
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Протокол исследования опасности поражения электрическим током
при прямом прикосновении человека к токопроводящим частям под
напряжением, в сетях с изолированной нейтралью в рабочем режиме и
аварийном режиме при замыкании фаз на заземленные
корпуса электрооборудования

Таблица 1

Результаты моделирования прямого прикосновения человека к частям,
находящимся под напряжением

Измеряемые ве- личины при $R_{ОБ+ПОЛА} = 1$ кОм	Сопротивление изоляции $R_{И}$, кОм (при $C_{И} = 0$ кОм)					Емкость линий относительно земли $C_{И}$, кОм (при $R_{И} = 1$ кОм)				
	1	5	10	100	∞	0	0,1	0,5	1,0	2,0
Исправная сеть										
Напряжение прямого прикос- новения U_h , В										
Ток через тело человека I_h , мА										
Аварийная сеть										
Напряжение прямого прикос- новения U_h , В										
Ток через тело человека I_h , мА										



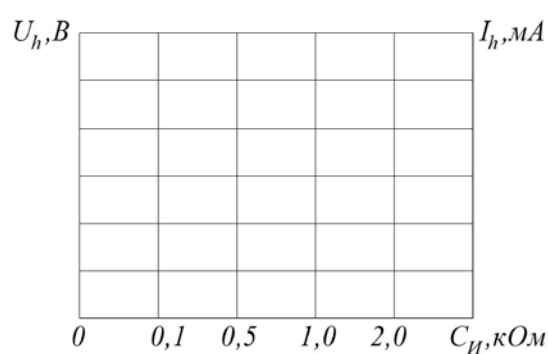
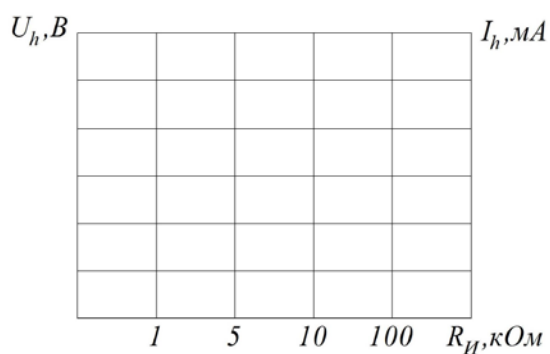
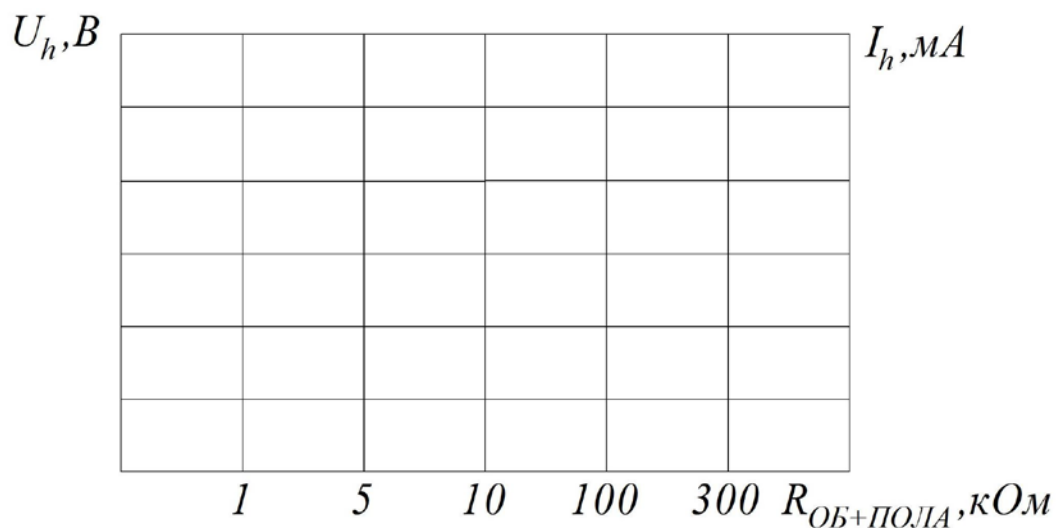


Таблица 2

Зависимость напряжения прямого прикосновения и тока через человека
от сопротивления пола и обуви в аварийной сети

Измеряемые величины (при $R_H = 1 \text{ кОм}$, $C_H = 0 \text{ кОм}$)	Сопротивление пола и обуви человека $R_{ОБ+ПОЛА}$, кОм				
	1	5	10	100	300
Напряжение прямого прикосновения U_h , В					
Ток через тело человека I_h , мА					



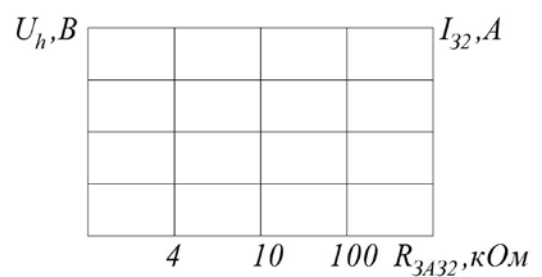
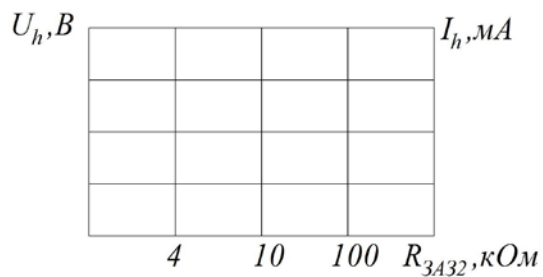
ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Протокол исследования опасности поражения электрическим током
при косвенном прикосновении человека к токопроводящим частям,
находящимся под напряжением, в сетях с изолированной нейтралью

Таблица 3

Результаты моделирования прикосновения человека к корпусу
электроустановки

Измеряемые величины (при $R_H = 10$ кОм, $C_H = 0$ кОм, $R_{ОБ+ПОЛА} = 1$ кОм)	Сопротивление заземлителя $R_{ЗАЗ2}$, Ом		
	4	10	100
Напряжение прямого прикосновения U_h , В			
Ток через тело человека I_h , мА			
Ток короткого замыкания I_{32} , А			



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Протокол исследования опасности поражения электрическим током
при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением,
в сетях с глухозаземленной нейтралью в рабочем режиме и аварийном режиме
при замыкании фаз на заземленные корпуса электрооборудования

Таблица 4

Результаты моделирования прямого прикосновения человека к частям,
находящимся под напряжением при исправной сети

Измеряемые величины при $R_{ОБ+ПОЛА} = 1$ кОм	Сопротивление изоляции R_{II} , кОм (при $C_{II} = 0$ кОм)					Емкость линий относительно земли C_{II} , кОм (при $R_{II} = 1$ кОм)				
	1	5	10	100	∞	0	0,1	0,5	1,0	2,0
Напряжение прямого при- косновения U_h , В										
Ток через тело человека I_h , мА										

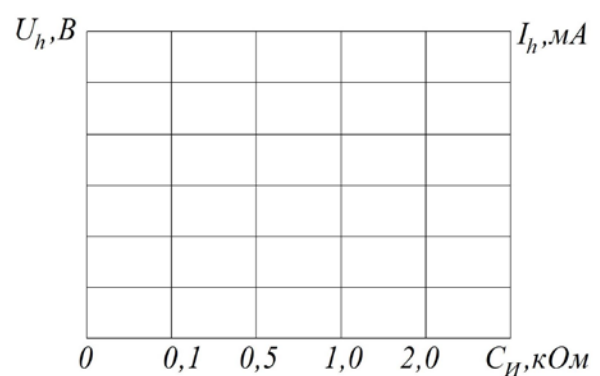
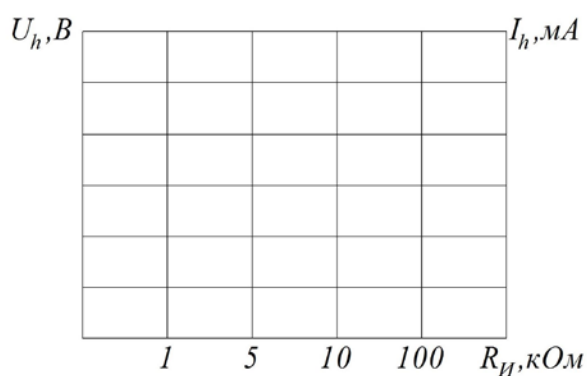


Таблица 5

Зависимость напряжения прямого прикосновения и тока через человека от сопротивления пола и обуви в исправной сети

Измеряемые величины (при $R_H = 10 \text{ кОм}$, $C_H = 0 \text{ кОм}$)	Сопротивление пола и обуви человека $R_{ОБ+ПОЛА}$, кОм				
	1	5	10	100	300
Напряжение прямого прикосновения U_h , В					
Ток через тело человека I_h , мА					

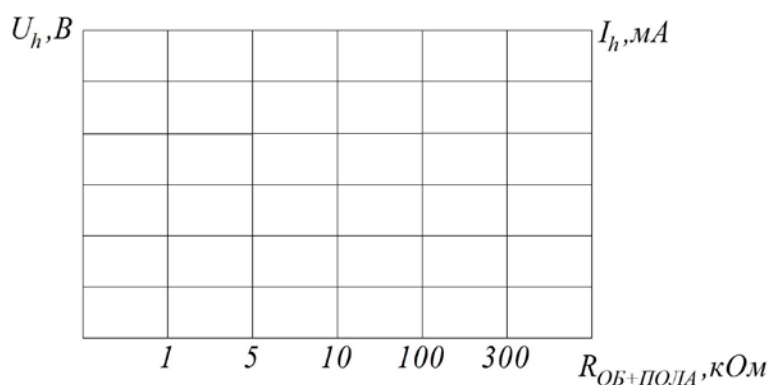
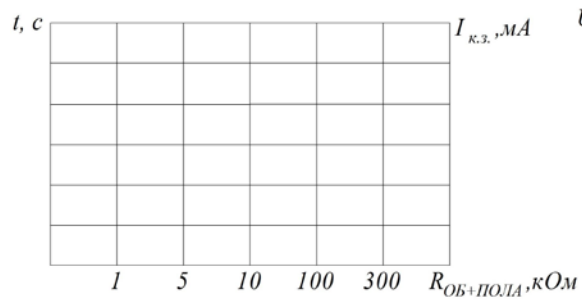


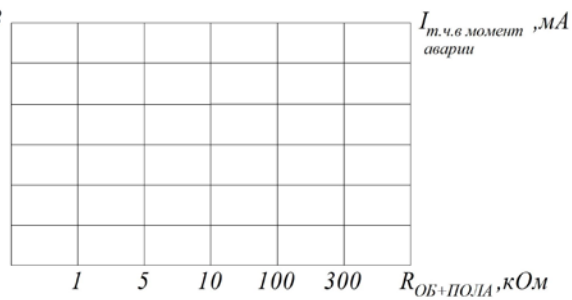
Таблица 6

Зависимость времени срабатывания защиты, напряжения прямого прикосновения, тока через человека и тока короткого замыкания от сопротивления пола и обуви в аварийной сети

Измеряемые величины (при $R_H = 10 \text{ кОм}$, $C_H = 0 \text{ кОм}$)	Сопротивление пола и обуви человека $R_{ОБ+ПОЛА}$, кОм				
	1	5	10	100	300
Время срабатывания защиты, с					
Ток короткого замыкания, А					
Напряжение прямого прикосновения в момент аварии, В					
Ток через тело человека в момент аварии, мА					



$U_{п.п.в \text{ момент аварии}}, B$



ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Протокол исследования опасности поражения электрическим током
при косвенном прикосновении человека к частям, находящимся
под напряжением в сетях с заземленной нейтралью

Таблица 7

Результаты моделирования прикосновения человека к
корпусу электроустановки

Измеряемые величины	Значения
Время срабатывания защиты, с	
Ток короткого замыкания, А	
Напряжение прикосновения человека в момент аварии, В	
Ток через тело человека в момент аварии, мА	

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАБОТЕ НА ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Методические указания к лабораторной работе

Бутин Антон Владимирович
Дмитриев Семен Анатольевич
Кирсанов Филипп Александрович
Поляков Виктор Владимирович

Редактор
Подписано в печать . Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Объем 40 с. Тираж 100 экз. Заказ №
Издательство Липецкого государственного технического университета.
Полиграфическое подразделение Издательства ЛГТУ.
398600 Липецк, ул. Московская, 30