

Министерство образования и науки Российской Федерации
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р.Е.АЛЕКСЕЕВА

Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»

**Исследование электробезопасности трехфазных сетей
переменного тока напряжением до 1000 В**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине БЖД
для студентов всех специальностей

Нижний Новгород
2014

21

Составители: И.В. Гейко, О.В. Маслеева

УДК 658.345.43

Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В: Метод. указания к лаб. работе по курсу БЖД для студентов всех специальностей /НГТУ; Сост.: И.В. Гейко, О.В. Маслеева. Н.Новгород, 2014. 17 с.

Утверждены на заседании кафедры 20 ноября 2014г, протокол № 2.

1. Цель работы

Оценить опасность прямого прикосновения человека к фазным проводам электрических сетей напряжением до 1 кВ. Определить влияние активного сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли на опасность поражения человека электрическим током при нормальном и аварийном режимах работы сети с изолированной и глухозаземленной нейтралью.

2. Теоретическая часть

2.1. Действие электрического тока на организм человека

Опасность электрического тока усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение электрического тока дистанционно. Опасность обнаруживается слишком поздно – когда человек уже поражен.

Условием поражения человека электрическим током является его прикосновение к двум точкам электрической цепи с разными потенциалами.

Электротравма – травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

Электрический удар – электротравма, проявляющаяся в возбуждении живых тканей организма протекающим через него электрическим током. При этом наступают судороги мышц или других тканей, шок, паралич дыхания, нарушение деятельности сердца и кровообращения.

Опасность поражения человека определяется величиной тока, проходящего через тело человека. В зависимости от реакции организма на ток можно выделить следующие его значения.

Пороговый осязаемый ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через организм осязаемые раздражения. Для тока промышленной частоты ($f=50$ Гц) значение порогового осязаемого тока составляет 1 мА.

Пороговый неотпускающий ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник. Человек при этом не может самостоятельно освободиться от проводника. Величина этого тока составляет 10 мА.

Пороговый фибрилляционный ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через органы человека фибрилляцию сердца. Кровообращение останавливается. Сердце человека самостоятельно выйти из этого состояния не может, через несколько минут наступает смерть. Величина этого тока составляет 50 мА.

Переменный ток свыше 100 мА считается **смертельным**.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока зависит от различных факторов:

- От сопротивления тела человека.

Электрическое сопротивление человека складывается из сопротивления кожи и внутренних органов. Кожа обладает большим сопротивлением и определяет общее сопротивление человека. При сухой и неповрежденной коже сопротивление тела человека составляет 2 000 - 2 000 000 Ом. При увлажненной, загрязненной и поврежденной коже сопротивление тела сокращается до 300-500 Ом, т.е. до сопротивления внутренних органов. При расчетах сопротивление человека принимается равным 1000 Ом.

- От величины напряжения, действующего на человека.
- От рода и частоты тока.

Постоянный ток безопаснее, чем переменный ток промышленной частоты (50 Гц) примерно в 4-5 раз. Это справедливо до напряжения 500 В, свыше 500 В постоянный ток становится опаснее.

- От продолжительности воздействия электрического тока.

При увеличении продолжительности воздействия электрического тока сопротивление тела человека падает вследствие усиления кровообращения участков кожи под электродами и потовыделения. При этом ток может возрасти до значения, способного вызвать остановку сердца. Допустимое время воздействия при напряжении 220В составляет 0,2сек.

- От условий внешней среды.

Параметры микроклимата в производственных помещениях влияют на сопротивление тела человека. Увеличение температуры, влажности, снижение подвижности воздуха приводят к снижению сопротивление кожных покровов.

- От индивидуальных свойств человека.

2.2. Анализ опасности поражения током в электрических сетях

Степень опасности прикосновения человека к открытым незаземленным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением, зависит от вида прикосновения, вида электрической сети, режима работы сети (нормальный и аварийный).

Прикосновение может быть:

- однофазным, когда человек касается одной фазы электросети;
- двухфазным, когда человек касается двух фаз электросети.

Согласно ПУЭ (Правил устройства электроустановок) при напряжении до 1000 В применяют следующие виды электрических трехфазных сетей:

- трехпроводная с изолированной нейтралью (рис. 1, а);
- четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью (рис. 1, б).

Изолированной называется нейтраль генератора или трансформатора, не присоединенная к заземляющему устройству.

Глухозаземленной называется нейтраль генератора или трансформатора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление r_0 .

При нормальном режиме работы трехфазной сети с любым режимом нейтрали потенциал нулевой точки равен нулю. Между нулевой точкой (нейтралью - N) и любым фазным проводом (A, B, C) действует фазное напряжение U_{ϕ} . Так как нулевой проводник O в системе с глухозаземленной нейтралью непосредственно соединен с нейтралью, то между ним и любой фазой также действует фазное напряжений. Между фазными проводами действует линейное напряжение $U_{л}$.

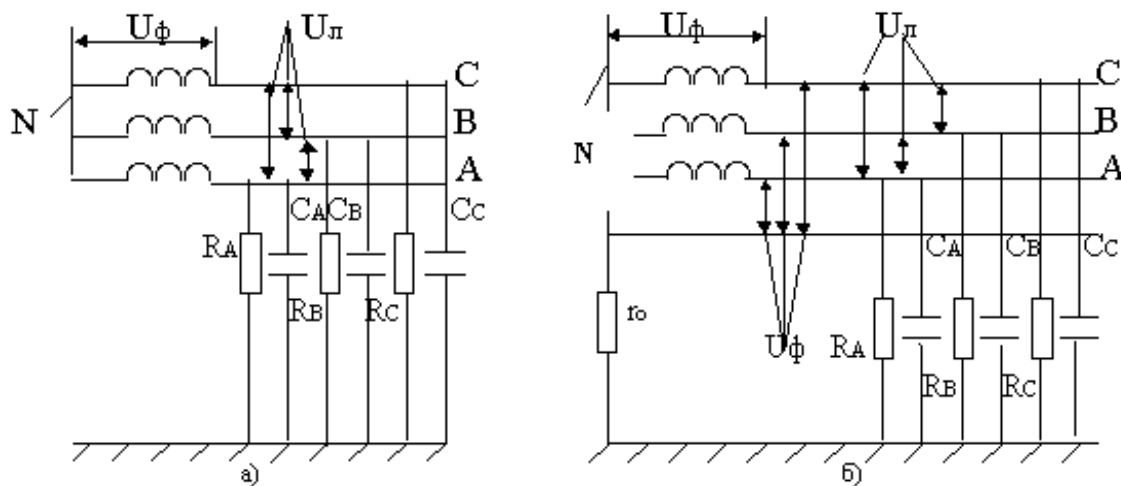


Рис. 1. Виды электрических трехфазных сетей:

а — трех проводная с изолированной нейтралью;

б — четырех проводная с глухозаземленной нейтралью;

A, B, C — фазы;

O — защитный нулевой проводник;

N — нейтраль;

U_{ϕ} — фазное напряжение;

$U_{л}$ — линейное напряжение;

R_A, R_B, R_C — активное сопротивление изоляции фаз (не менее 0,5Мом);

C_A, C_B, C_C — емкости фаз относительно земли;

r_0 — сопротивление заземления нейтрали (4 Ом)

Наибольшее распространение получили трехфазные сети, у которых линейное напряжение $U_{л} = 380$ В, фазное $U_{\phi} = 220$ В, а между линейным и фазным напряжениями существует зависимость $U_{л} = U_{\phi} \sqrt{3}$.

Идеальной изоляции, т.е. такой, у которой сопротивление относительно земли бесконечно велико, в практике не существует. Поэтому на каждом участке длины провода изоляция имеет конечное активное сопротивление (R_A, R_B, R_C) Кроме того, каждый участок провода имеет емкость относительно земли (C_A, C_B, C_C).

2.2.1. Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

В нормальном режиме работы при однофазном прикосновении (рис. 2а) величина тока, проходящего через человека (для случая симметричного сопротивления изоляция фаз, т.е. $R_A=R_B=R_C=R$ и $C_A=C_B=C_C=C$), определится выражением в комплексной форме

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + Z/3},$$

где R_h - сопротивление тела человека, Ом;

Z - полное сопротивление одной фазы относительно земли, Ом.

$$Z = \frac{R_{из}}{(1 + j\omega CR_{из})}.$$

Здесь $R_{из}$ - активное сопротивление изоляции, Ом;

ω - угловая частота;

C - емкость провода относительно земли, Ф.

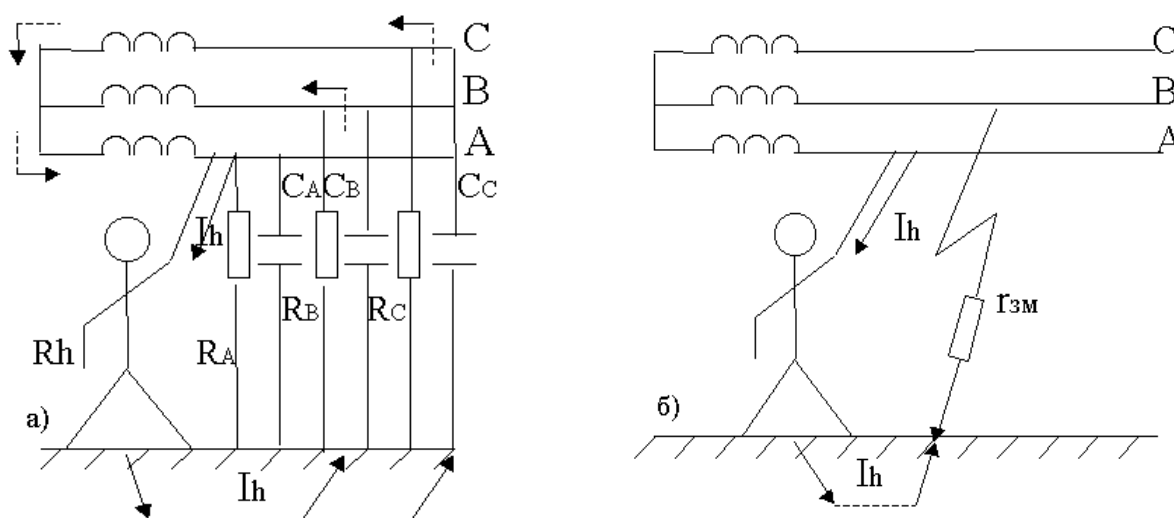


Рис. 2. Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью:

а - нормальный режим; б - аварийный режим

Для воздушных сетей малой протяженности емкость проводов относительно земли незначительна ($C=0$), тогда величина тока, протекающего через человека, выразится зависимостью:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{из}/3}.$$

При $U_\phi = 220$ В, $R_h=1000$ Ом, $R_{из} = 500\ 000$ Ом сила тока через человека $I_h=1$ мА, т.е. не опасна (пороговый ощутимый ток).

При использовании кабельных линий емкости проводов относительно земли и сопротивления изоляции имеют очень большое значение ($C \neq 0$; $R_{из} = \infty$); тогда сила тока, протекающего через человека,

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

где $X_c=1/\omega C$ - емкостное сопротивление изоляции проводов, Ом.

Из рассмотренных выражений следует, что величина тока, проходящего через человека, зависит от активного сопротивления изоляции (характерно для воздушных сетей) и емкостного сопротивления изоляции проводов (характерно для кабельных сетей).

В аварийном режиме, когда одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление $r_{з\text{м}}$, человек, прикасаясь к другой фазе, оказывается включенным между двух фаз (рис. 2, б).

Величина тока, проходящего через человека,

$$I_h = \frac{U_\phi \sqrt{3}}{R_h + r_{з\text{м}}}.$$

При $U_\phi=220$ В, $R_h = 1000$ Ом, $r_{з\text{м}}=0$ величина тока через человека $I_h=380$ мА, т.е. смертельна.

В аварийном режиме величина тока, проходящего через человека, резко возрастает, т.к. защитная роль сопротивлений изоляции сводится к нулю (т.к. $r_{з\text{м}} \ll R_{\text{из}}$). Следовательно, в аварийном режиме значительно увеличивается опасность поражения электрическим током.

2.2.2. Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

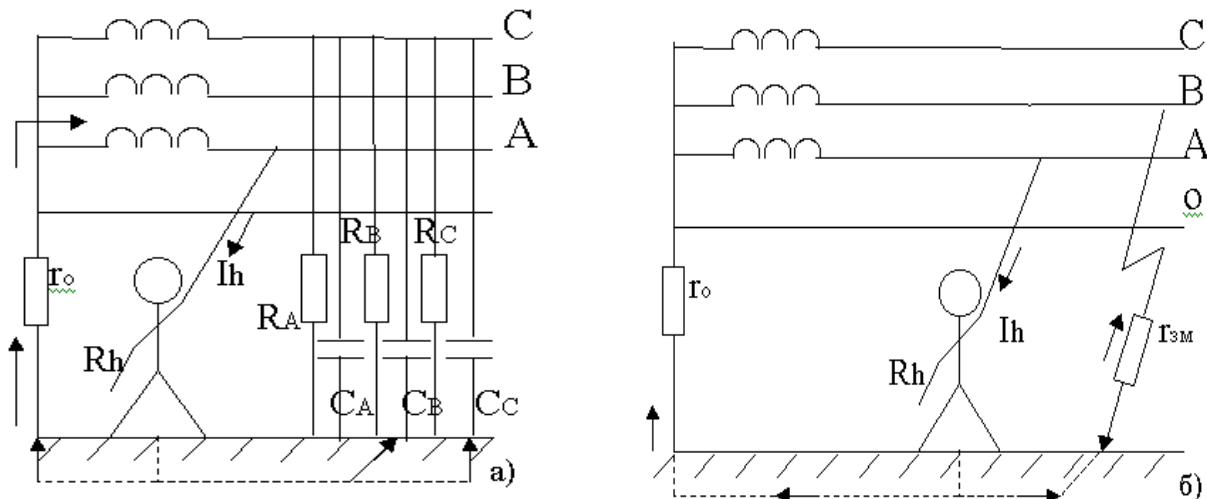


Рис. 3. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью:
а - нормальный режим; б - аварийный режим

В нормальном режиме при однофазном прикосновении (рис. 3, а) величина тока, проходящего через человека, определится выражением

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0},$$

то есть величина тока через человека зависит только от сопротивления человека и не зависит от качества изоляции. При $U_\phi=220$ В, $R_h=1000$ Ом, $r_0=4$ Ом величина тока через человека $I_h=220$ мА, т.е. смертельна.

В аварийном режиме одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление r_{3M} (рис. 3, б).

Если величина $r_{3M} \approx r_0$, то величина тока, проходящего через человека,

$$I_h = \frac{U_\phi (r_{3M} + r_0 \sqrt{3})}{r_{3M} r_0 + R_h (Z_{3M} + r_0)} = \frac{U_\phi \cdot 1,35}{R_h}.$$

Возрастание тока повышает опасность сети с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме по сравнению с нормальным режимом работы.

2.2.3. Двухфазное прикосновение человека

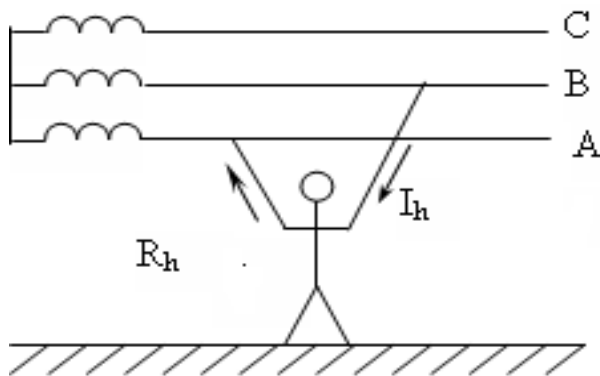


Рис.4. Двухфазное прикосновение человека

Величина тока через человека при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции, а определяется только линейным напряжением и сопротивлением человека:

$$I_h = \frac{U_l}{R_h}$$

При $U_l=380$ В, $R_h=1000$ Ом сила тока через человека $I_h=380$ мА, т.е. смертельна.

2.4. Краткие выводы

Сравнительная оценка двух видов фазных сетей показывает следующее:

1. Однофазное прикосновение к сети с изолированной нейтралью с малой емкостью и высоким сопротивлением изоляции безопаснее, чем прикосновение к сети с глухозаземленной нейтралью.

2. Однофазное прикосновение в период аварийной работы сети с изоли-

рованной нейтралью значительно опаснее, чем в сети с глухозаземленной нейтралью, т.к. защитная роль изоляции сводится к нулю и резко возрастает ток через человека.

3. Опасность поражения при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали, и этот случай является наиболее опасным.

3. Описание лабораторной установки

На лицевой панели стенда (рис.4) изображена мнемосхема системы «трехфазная электрическая сеть - человек», которая содержит изображение источника питания (трехфазная сеть), фазных и защитного проводников, электропотребителя, УЗО и цепи, имитирующие прикосновение человека к фазным проводам.

Включение – выключение стенда производится тумблером «ВКЛ-ВЫКЛ», расположенным слева в нижней части передней панели стенда.

Реально существующие распределительные сопротивления изоляции и емкости проводов (фазных и нулевого) относительно земли изображены на мнемосхеме в виде сосредоточенных элементов – резисторов и конденсаторов.

В изображении 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, выполняющими следующие функции:

- изменение значений сопротивления изоляции проводов (« R_{AE} », « R_{BE} », « R_{CE} », « R_{PEN} »): «1; 2,5; 10; 25; 100; ∞ кОм» и емкости проводов (« C_{AE} », « C_{BE} », « C_{CE} », « C_{PEN} »): «0; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5 мкФ»,

- имитацию прикосновения человека к токоведущим проводам сети путем соединения гибким проводом со штекерами клеммы «Xпр» с одной из клемм « X_A », « X_B », « X_C » или « X_{AK} ».

- имитацию замыкания одного из фазных проводов на землю (« $S_{KЗ}$ »), при этом положение «0» соответствует нормальному режиму работы стенда,

- изменение значений сопротивления тела человека (« R_H »): «1-100кОм»,
- изменение значений сопротивления замыкания фазного провода на землю (« $R_{ЗМ}$ »): «10;100;1000 Ом»,

- переключение режима нейтрали («глухозаземленная - изолированная») с одновременным подключением (отключением) PEN-провода (« S_N »).

Сопротивление заземления нейтрали (« R_0 ») установлено постоянное (4 Ом).

Измерение токов (Амперметр) и напряжений (Вольтметр) в трехфазной сети осуществляется цифровыми индикаторами в нижней части стенда (ток в цепи тела человека « A_1 », сопротивление тела человека « R_H ») и « $U_A-U_B-U_C$ » (напряжения фазных проводов относительно земли).

Индикаторы отображают «измеренные» значения параметров по нажатию кнопки «ИЗМЕРЕНИЕ», расположенной справа в нижней части передней панели; показания сбрасываются нажатием кнопки «СБРОС», расположенной там же.

Таблица 1 Основные величины элементов схемы

Активные сопротивления изоляции фаз $R_{AE}, R_{BE}, R_{CE}, R_{PEN}$, кОм	Емкости фаз относительно земли $C_{AE}, C_{BE}, C_{CE}, C_{PEN}$, мкФ	Сопротивление тела человека R_h , кОм	Сопротивление замыкания на землю $R_{зм}$, Ом
1	0	1 - 100	10
2,5	0,1		100
10	0,25		1000
25	0,5		
100	1,0		
∞	2,5		

4. Техника безопасности

1. При выполнении данной лабораторной работы необходимо выполнять требования по технике безопасности, общие для лаборатории.

2. Внешним осмотром убедиться в исправности состояния испытательного стенда.

3. К стенду подведено напряжение 380/220 В, поэтому студенты должны внимательно изучить теоретическую часть лабораторной работы и включать стенд только с разрешения преподавателя или лаборанта.

4. При наличии неисправности испытательный стенд отключить от сети и поставить в известность преподавателя.

5. Задание к работе

Таблица 2

№ п/п	Устанавливаемые величины	Варианты		
		1	2	3
1	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}$, кОм	2,5	1	10
	$C_A=C_B=C_C$, мкФ	0,1	0,25	0,5
	R_{PEN}	2,5	5	10
	C_{PEN}	0,25	0,1	0,5
	Человек касается фазы	А	В	С
2	R_h , кОм	1	3	5

	R_{PEN}	2,5	5	10
	C_{PEN}	0,25	0,1	0,5
	Человек касается фазы	А	В	С
3	R_h , кОм	1	3	5
	R_{PEN}	2,5	5	10
	C_{PEN}	0,25	0,1	0,5
	Человек касается фазы	А	В	С
4	$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}$, кОм	2,5	1	10
	$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}$, мкФ	0,1	0,25	0,5
	R_{PEN}	2,5	5	10
	C_{PEN}	0,25	0,1	0,5
	R_h , кОм	1	2,5	5
	человек касается фазы	А	В	С
	аварийный режим фазы	В	С	А

6. Порядок выполнения работы

6.1. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от сопротивления человека

6.1.1. Сеть с изолированной нейтралью

1) Изолировать нейтраль - перевести переключатель S_N в нижнее положение.

2) Установить значения активных сопротивлений изоляции R_{AE} , R_{BE} , R_{CE} и емкостей C_{AE} , C_{BE} , C_{CE} фазных проводов относительно земли в соответствии с заданием.

3) Имитировать подключение человека к заданной фазе, соединив с помощью гибкого провода со штекерами клемму «Хпр» с одной из клемм «ХА», «ХВ», «ХС».

4) Включить стенд.

5) Ручкой регулятора R_H установить значения сопротивления цепи тела человека $R_H = 1$ кОм. Измерить эту величину по омметру, нажав кнопку «измерение». Сбросить показания нажатием кнопки «сброс». Если величина отличается от 1 кОм, то плавно вращая ручку регулятора добиться требуемой величины, каждый раз нажимая кнопки «измерение» и «сброс».

6) Произвести измерение тока I_h в цепи тела человека с помощью амперметра А1, нажав кнопку «измерение». Записать показания в таблицу 3.3 Сбросить показания нажатием кнопки «сброс».

7) Ручкой регулятора R_H установить значения сопротивления цепи тела человека $R_H = 2,5$ кОм. Измерить эту величину по омметру, нажав кнопку «измерение». Сбросить показания нажатием кнопки «сброс». Если величина отличается от 2,5 кОм, то плавно вращая ручку регулятора добиться требуемой

величины, каждый раз нажимая кнопки «измерение» и «сброс». Произвести измерение тока I_h в цепи тела человека с помощью амперметра А1.

8) Повторить измерения тока в цепи тела человека при значениях $R_H = 5$ кОм, $R_H = 10$ кОм, $R_H = 20$ кОм

6.1.2. Сеть с заземленной нейтралью

1) Заземлить нейтраль - перевести переключатель S_N в верхнее положение.

2) Установить значения сопротивления цепи тела человека $R_h = 1$ кОм переключателем R_H .

3) Произвести измерение тока I_h в цепи тела человека с помощью амперметра А1, нажав кнопку «измерение». Записать показания в таблицу 3.3 Сбросить показания нажатием кнопки «сброс».

4) Повторить измерения тока в цепи тела человека при значениях $R_H = 2,5$ кОм, $R_H = 5$ кОм, $R_H = 10$ кОм, $R_H = 20$ кОм.

6.2. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от активного сопротивления изоляции фазных проводов

6.2.1. Сеть с изолированной нейтралью

1) Изолировать нейтраль - перевести переключатель S_N в нижнее положение.

2) Установить значения сопротивления цепи тела человека R_H (в соответствии с заданием) переключателем R_H .

3) Установить значения емкостей проводов $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 0$.

4) Установить значения активных сопротивлений фазных проводов относительно земли $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = 1$ кОм. Произвести измерения тока I_h в цепи тела человека с помощью амперметра А1.

5) Симметрично увеличивая сопротивление изоляции с помощью переключателей R_{AE} , R_{BE} , R_{CE} , произвести измерения тока I_h в цепи тела человека с помощью амперметра А1.

6.2.2. Сеть с заземленной нейтралью

1) Заземлить нейтраль - перевести переключатель S_N в верхнее положение.

2) Произвести измерения тока I_h в цепи тела человека с помощью амперметра А1, устанавливая поочередно значения активных сопротивлений фазных проводов относительно земли $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE}$.

6.3. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от емкости фазных проводов относительно земли

6.3.1. Сеть с изолированной нейтралью

1) Изолировать нейтраль - перевести переключатель S_N в нижнее положение.

2) Установить значения активного сопротивления фазных проводов относительно земли $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = \infty$.

3) Установить значения емкостей проводов относительно земли $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 0,1$. Произвести измерения тока I_h в цепи тела человека с помощью амперметра А1.

4) Симметрично увеличивая значения емкости фазных проводов относительно земли C_{AE} , C_{BE} , C_{CE} , произвести измерения тока I_h в цепи тела человека с помощью амперметра А1.

6.3.2. Сеть с заземленной нейтралью

1) Заземлить нейтраль - перевести переключатель S_N в верхнее положение.

2) Произвести измерения тока I_h в цепи тела человека с помощью амперметра А1, устанавливая поочередно значения емкости фазных проводов относительно земли $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE}$.

6.4. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении человека к фазному проводу трехфазной сети при аварийном режиме работы сети (замыкание одного из фазных проводов на землю)

6.4.1. Сеть с изолированной нейтралью

1) Изолировать нейтраль - перевести переключатель S_N в нижнее положение.

2) Установить значения активных сопротивлений изоляции R_{AE} , R_{BE} , R_{CE} и емкостей C_{AE} , C_{BE} , C_{CE} фазных проводов относительно земли в соответствии с заданием.

4) Установить заданные значения сопротивления цепи тела человека R_h

6) Произвести измерение тока I_h в цепи тела человека с помощью амперметра.

7) Имитировать аварийный режим работы сети, переведя переключатель S_{K3} в заданное положение (замкнув заданную фазу на землю).

8) Установить заданное значение $R_{зм}$.

9) Произвести измерения тока в цепи тела человека I_h с помощью амперметра А1.

6.4.2. Сеть с заземленной нейтралью

1) Заземлить нейтраль - перевести переключатель S_N в верхнее положение.

7) Имитировать нормальный режим работы сети, переведя переключатель S_{K3} в «0»положение.

6) Произвести измерение тока I_h в цепи тела человека с помощью амперметра.

7) Имитировать аварийный режим работы сети, переведя переключатель S_{K3} в заданное положение (замкнув заданную фазу на землю).

9) Произвести измерения тока в цепи тела человека I_h с помощью амперметра А1.

Выключить стенд.

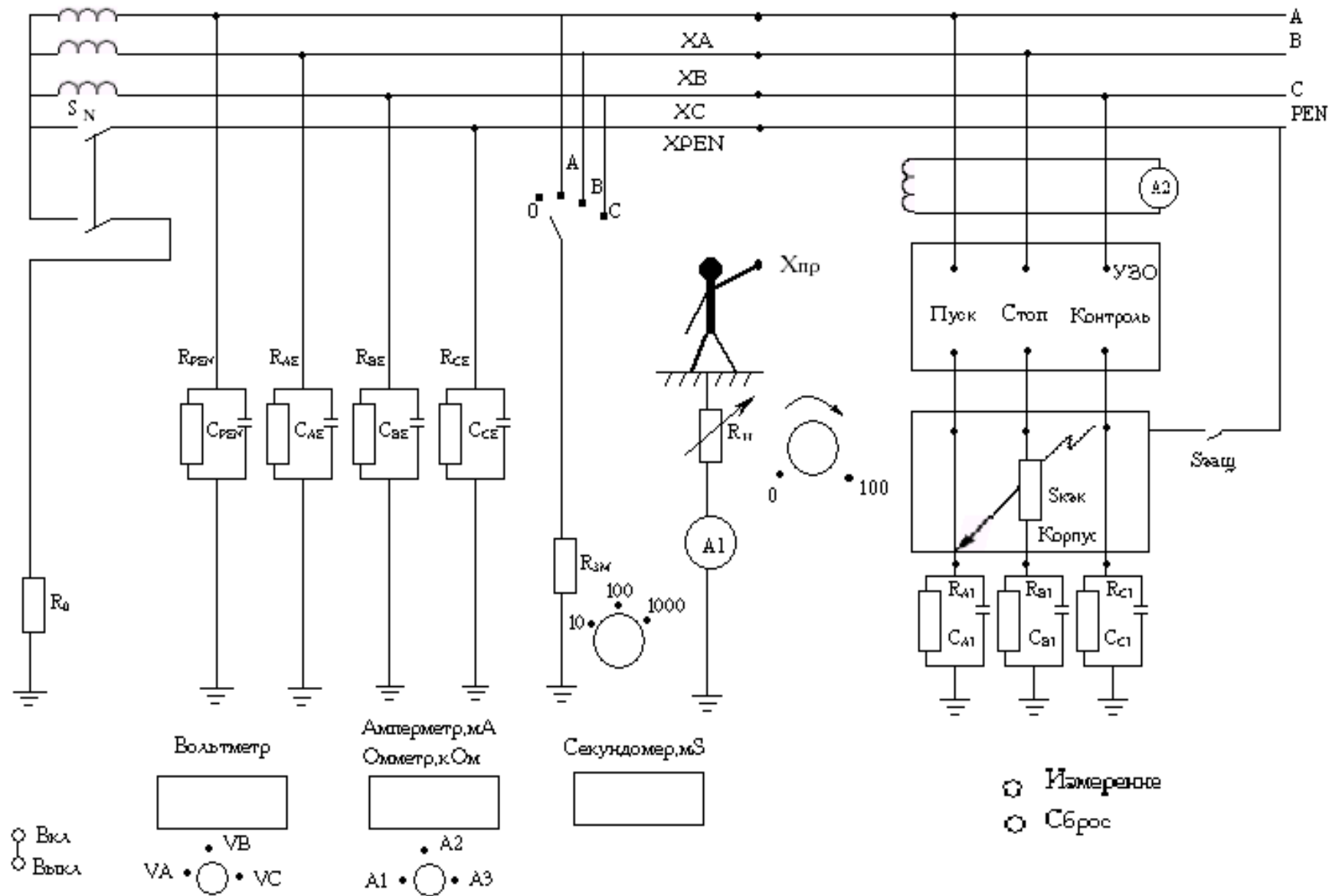
7. Указания к составлению отчета

Отчет должен включать в себя:

- цель работы;
- полученные результаты в виде таблицы;
- графики зависимости величины тока через человека от
 - ✓ сопротивления человека;
 - ✓ активного сопротивления изоляции;
 - ✓ емкости фаз;
- выводы об опасности поражения электрическим током в трехфазных сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью на основании анализа полученных результатов (рис.2а) ;
- схемы сетей с изолированной и глухозаземленной нейтралью (рис.3а).

Таблица 3.3

№	Параметр, влияющий на ток через человека	Ток через человека, мА, при режиме нейтрали		
		изолированная	заземленная	
1	Сопротивление человека:			
	$R_h = 1 \text{ кОм}$			
	$R_h = 2,5 \text{ кОм}$			
	$R_h = 5 \text{ кОм}$			
	$R_h = 10 \text{ кОм}$			
2	Активное сопротивление изоляции:			
	$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = 1 \text{ кОм}$			
	$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = 2,5 \text{ кОм}$			
	$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = 10 \text{ кОм}$			
	$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = 25 \text{ кОм}$			
3	Ёмкость фаз:			
	$C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 0,1 \text{ мкФ}$			
	$C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 0,25 \text{ мкФ}$			
	$C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 0,5 \text{ мкФ}$			
	$C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = 1,0 \text{ мкФ}$			
4	Режим работы сети:			
	нормальный			
	аварийный:	$R_{3M} = 10 \text{ Ом}$		
		$R_{3M} = 100 \text{ Ом}$		
$R_{3M} = 1000 \text{ Ом}$				



Литература

1. Князевский Б.А. и др. Электробезопасность в машиностроении. -М: Машиностроение, 1980. 240 с.
2. Охрана труда в машиностроении / Под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова. –М.: Машиностроение, 1983. - 432 с.
3. Правила устройства электроустановок. -М: Энергоатомиздат, 1986. 648 с.
4. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. -М.: Энергоатомиздат, 1984. С. 168-179.