

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет»

Кафедра электроснабжения горных и промышленных предприятий

Составители
Т. Ф. Малахова
С. Г. Захаренко
А. О. Балаганский

**ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ
ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
С ИЗОЛИРОВАННОЙ И ЗАЗЕМЛЁННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ**

**Методические указания к практическим занятиям
по дисциплине «Электробезопасность»
для студентов всех форм обучения**

Рекомендованы учебно-методической комиссией направления
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» в качестве
электронного издания для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

С. А. Захаров – заведующий кафедрой электроснабжения горных и промышленных предприятий

И. Ю. Семькина – председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Малахова Татьяна Федоровна

Захаренко Сергей Геннадьевич

Балаганский Андрей Олегович

Электробезопасность в низковольтных трёхфазных сетях переменного тока с изолированной и заземлённой нейтралью: методические указания к практическим занятиям по дисциплине «**Электробезопасность**» [Электронный ресурс]: для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», образовательная программа «Электроснабжение», всех форм обучения / сост. Т. Ф. Малахова, С. Г. Захаренко, А. О. Балаганский; КузГТУ. – Кемерово, 2016. – Систем. требования: PentiumIV; ОЗУ 8 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

Составлено в соответствии с программой дисциплины «Электробезопасность» и предназначено для проведения лабораторных занятий студентов по изучению вопросов электробезопасности в низковольтных трёхфазных сетях переменного тока промышленной частоты.

КузГТУ, 2016

© Малахова Т. Ф., Захаренко С. Г.,

Балаганский А.О., составление, 2016

Цель работы

Приобретение и закрепление теоретических знаний по вопросам электробезопасности в низковольтных трёхфазных сетях переменного тока с изолированной и заземлённой нейтралью.

Общие положения

Опасность воздействия тока на организм человека зависит от значения силы тока, протекающего через тело человека и длительности его протекания, пути электрического тока в теле человека, частоты и рода тока, а также индивидуальных свойств тела человека и условий внешней среды.

Величина силы тока поражения, определяющая исход удара электрическим током, зависит от многих факторов: режима работы нейтрали и сети, активного и ёмкостного сопротивления между токоведущими частями и землёй, схемы включения тела человека в цепь тока, собственным сопротивлением тела человека.

Согласно ГОСТ Р 12.1.009-2009 токи поражения подразделяются на:

– осязаемый ток, вызывающий при прохождении через организм осязаемые раздражения (0,6...1,5 мА для переменного 50 Гц тока и 5...7 мА для постоянного);

– неотпускающий ток, вызывающий непреодолимые судороги мышц руки, в которой зажат проводник (10..15 мА для переменного 50 Гц тока и 50...80 мА для постоянного);

– фибрилляционный ток, вызывающий фибрилляцию сердца (100 мА для переменного 50 Гц тока и 300 мА для постоянного).

Значение силы тока, протекающего через тело человека, согласно закону Ома, зависит от напряжения и сопротивления человека, включившегося (коснувшегося) в цепь, по которой течет ток. Этот ток считается опасным, несмотря на то, что человек имеет собственное сопротивление тела, сопротивление обуви, пола, заземляющего устройства, защитных средств. Поскольку эти сопротивления имеют малое значение, ток остается большим.

Наличие или отсутствие данных сопротивлений и их величина в этой цепи зависят от типа прикосновения, режима работы нейтрали, режима работы сети (нормального или аварийного),

использования средств защиты и внешних условий, влияющих на сопротивления данных элементов.

Влияние режима работы нейтрали и сети, а также тип прикосновения зачастую несут определяющее значение на исход поражения электрическим током.

Влияние режима работы нейтрали, сети и типа прикосновения

Двухполюсное прикосновение.

При двухполюсном прикосновении (рис. 1) режим работы нейтральной точки и схема сети не играют значения:

$$U_{np} = U_c;$$

$$I_h = \frac{U_c}{R_h},$$

где U_{np} – напряжение прикосновения, В; U_c – напряжение сети В; I_h – ток, проходящий через тело человека, А; R_h – сопротивление тела человека, Ом.

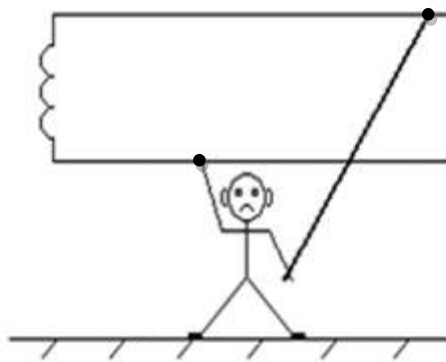


Рис. 1. Двухполюсное прикосновение

Ток проходит только через тело человека, сопротивление которого при расчетах принимается $R_h = 1000$ Ом, поэтому данный вариант поражения наиболее опасен.

При однополюсном прикосновении, напротив, имеет значение режим работы нейтрали, сопротивление изоляции $r_{из}$ и ёмкость фаз $C_{фаз}$ относительно земли, но поскольку сети до 1 кВ

преимущественно короткие, ёмкостная составляющая, в данном случае, при расчётах принимается равной нулю.

Трёхфазная сеть с глухозаземлённой нейтралью в нормальном режиме.

В данном режиме цепь тока, проходящего через человека, состоит из сопротивления тела человека, обуви, пола и заземляющего устройства нейтрали источника тока (рис. 2).

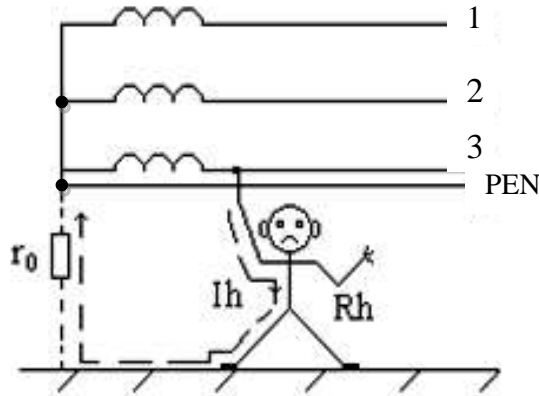


Рис. 2. Прикосновение к одной фазе в трёхфазной сети с заземлённой нейтралью в нормальном режиме

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

где I_h – ток, проходящий через тело человека, А; U_ϕ – напряжение фазы, В; R_h – сопротивление тела человека, Ом; $R_{об}$ – сопротивление обуви человека, Ом; $R_{п}$ – сопротивление пола человека, Ом; r_0 – сопротивление заземляющего устройства нейтрали, Ом.

В самом неблагоприятном случае сопротивление обуви и пола стремится к нулю, в сопротивление заземляющего устройства, согласно ПУЭ, не должно превышать 10 Ом, чем мы так же можем пренебречь, т. к. сопротивление тела человека во много раз больше и принимается за 1000 Ом:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h}.$$

Трёхфазная сеть с глухозаземлённой нейтралью в аварийном режиме.

В аварийном режиме работы сети (рис. 3), когда одна из фаз (например 1) замкнута на землю, а человек касается другой фазы (например 3), значение тока через тело человека определяется по формуле

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

где r_{3M} – сопротивление фазы относительно земли.

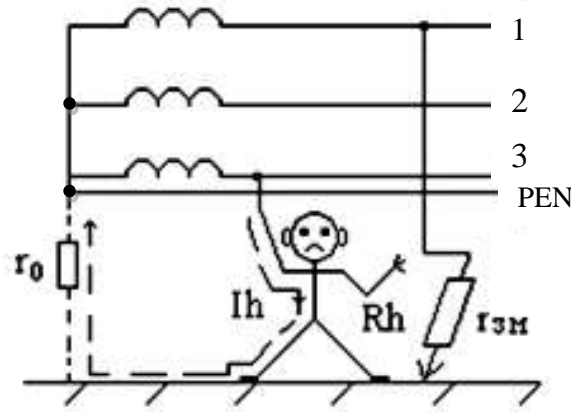


Рис. 3. Прикосновение к одной фазе в трёхфазной сети с заземлённой нейтралью в аварийном режиме

Данный режим (рис. 3) отличается от аналогичного в нормальном режиме тем, что при замыкании одной фазы на землю напряжение прикосновения может изменяться в пределах $U_\phi < U_{np} < U_\Delta$, в зависимости от значения сопротивления замыкания на землю и сопротивления заземляющего устройства:

$$r_{3M} = 0, \text{ тогда } U_{np} \rightarrow U_\Delta,$$

$$r_0 = 0, \text{ тогда } U_{np} \rightarrow U_\phi.$$

Трёхфазная сеть с изолированной нейтралью в нормальном режиме.

В нормальном режиме работы сети с изолированной нейтралью основное защитное действие оказывает сопротивление изоляции $R_{из}$. Чем выше $R_{из}$, тем меньше ток, протекающий через тело человека. В этом случае значение тока через тело человека определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{об} + R_{II} + \frac{R_{уз}}{3}}$$

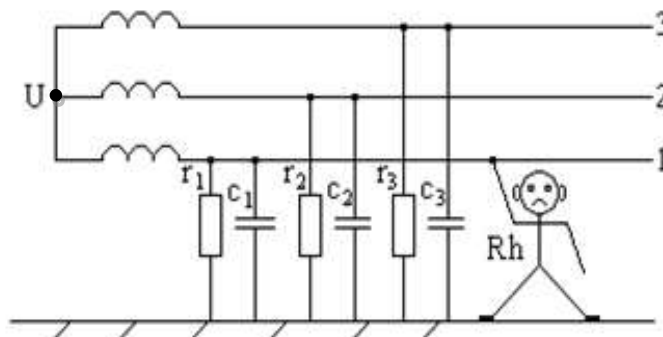


Рис. 4. Прикосновение к одной фазе в трёхфазной сети с изолированной нейтралью в нормальном режиме

Ток, проходящий через человека, возвращается к источнику не только через тело человека и землю (рис. 4), но и проходит изоляцию проводов сети $R_{уз}$, которая в исправном состоянии обладает большим сопротивлением (согласно ПУЭ, не менее 0,5 мОм для силовых проводов до 1 кВ).

При наиболее неблагоприятном случае:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{R_{уз}}{3}}$$

Трёхфазная сеть с изолированной нейтралью в аварийном режиме.

В аварийном режиме изолированная нейтраль становится опасной, когда человек касается одной фазы, а какая-либо другая из двух замкнута на землю (рис. 5). Тогда ток через тело человека определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{об} + R_{II} + r_{зм}}$$

При замыкании одной фазы на землю и прикосновении человека к «здоровой» фазе ток проходит через тело человека, сопротивление замыкания фазы на землю и возвращается к источнику через замкнувшую фазу. Напряжение прикосновения при этом увеличивается до линейного.

Сопротивление изоляции фаз относительно земли $R_{из}$ защитного действия в этом случае не оказывает.

В наихудшем случае:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_{зм}}$$

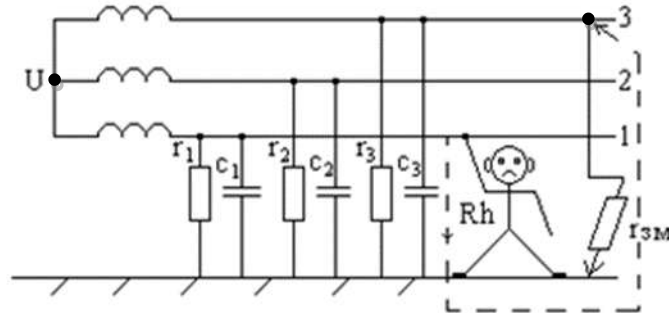


Рис. 5. Прикосновение к одной фазе в трёхфазной сети с изолированной нейтралью в аварийном режиме

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка «Электробезопасность в сетях постоянного и трёхфазного переменного тока до 1 кВ» (стенд) (рис. 6) имеет возможность выбора режима работы сети, рода тока и типа прикосновения (переключатель SA1), выбора сопротивления тела человека (SA2), обуви (SA3), изоляции (SA4) и пола (SA5 и SA6).

Прикосновение моделируется при помощи нажатия на кнопку SA7, при этом погасает индикаторная лампа HL1 и загорается HL2. Значение силы тока поражения показывается на амперметре РА.

Сравнить расчётные токи поражения с пороговыми, и оценить характер воздействия можно при помощи таблицы «Характер воздействия тока».

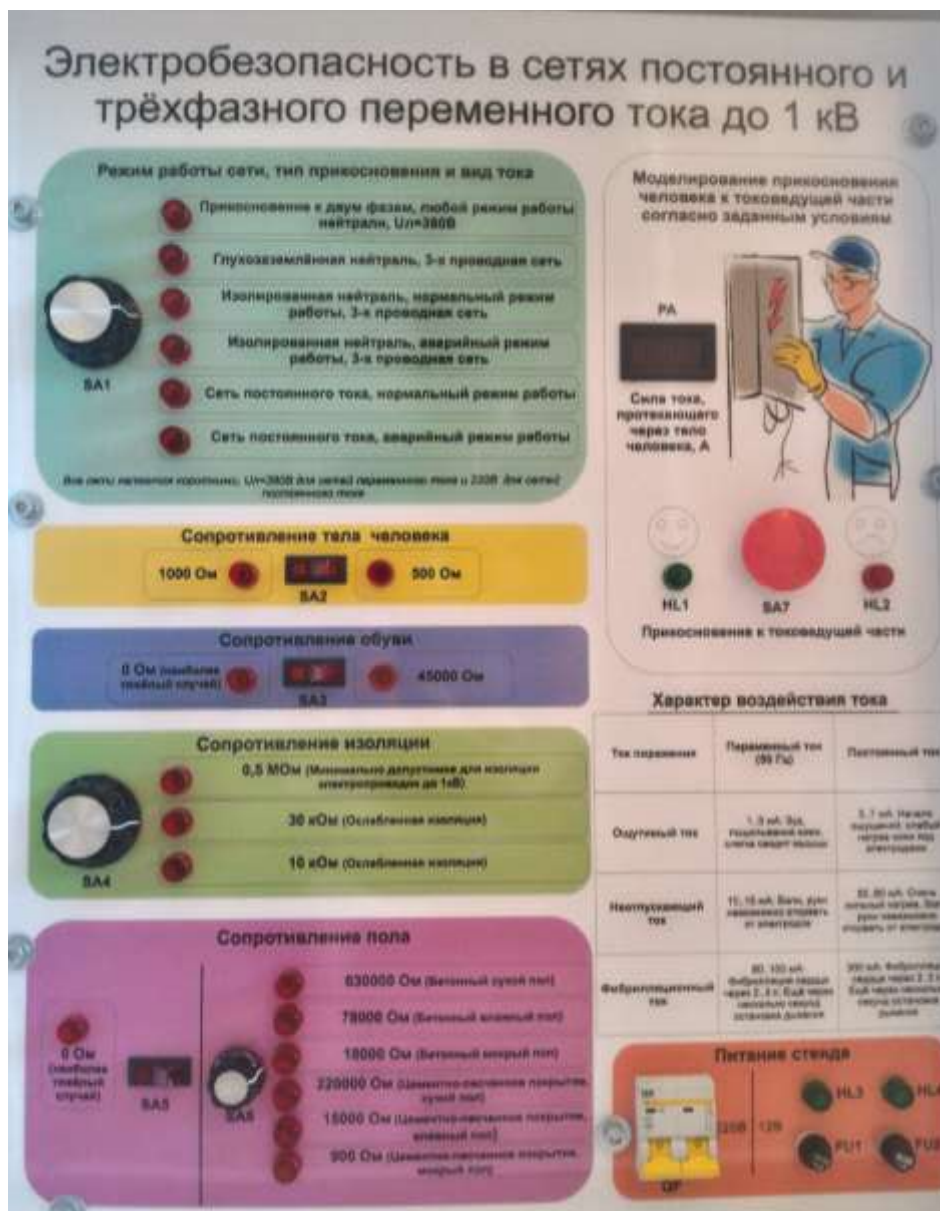


Рис. 6. Лабораторный стенд

Меры безопасности при работе на стенде

Лабораторный стенд относится к электроустановкам до 1000 В. Во избежание прикосновения к токоведущим частям все элементы схемы и монтажа выполнены внутри корпуса и доступ к ним закрыт.

Перед началом работы убедиться в исправности заземляющего устройства.

Для запуска лабораторного стенда необходимо подключить к сети 220 В 50 Гц, включить автомат QF, при этом должны загореться индикаторные лампы HL3 и HL4, свидетельствующие о наличии питания цепей стенда 12 В.

Если этого не произошло:

1. Обратиться к преподавателю.
2. Убедиться в наличии питания 220 В 50 Гц.
3. Обесточить стенд путём отключения от сети.
4. Проверить целостность предохранителей FU1 и FU2.

Порядок выполнения лабораторной работы

Ознакомиться с теоретическими положениями по вопросам электробезопасности в низковольтных трёхфазных сетях переменного тока с изолированной и заземлённой нейтралью.

Ознакомиться с методическими указаниями к данной работе и техникой безопасности по её выполнению.

Запустить лабораторный стенд с помощью выключателя QF.

Снять показания значений силы тока поражения для различных условий согласно табл. 1.

Таблица 1

Токи поражения

Факторы, влияющие на значение силы тока поражения	$R_q = 1000 \text{ Ом};$ $R_{об} = 0 \text{ Ом};$ $R_{из} = 0,5 \text{ мОм};$ $R_{п} = 0 \text{ Ом};$	$R_q = 500 \text{ Ом};$ $R_{об} = 0 \text{ Ом};$ $R_{из} = 0,5 \text{ мОм};$ $R_{п} = 0 \text{ Ом};$	$R_q = 1000 \text{ Ом};$ $R_{об} = 45 \text{ кОм};$ $R_{из} = 30 \text{ кОм};$ $R_{п} = 15 \text{ кОм};$	$R_q = 500 \text{ Ом};$ $R_{об} = 45 \text{ кОм};$ $R_{из} = 30 \text{ кОм};$ $R_{п} = 220 \text{ кОм};$
Прикосновение к двум фазам, $U_n = 380 \text{ В}$				
Глухозаземлённая нейтраль, 3-проводная сеть				
Изолированная нейтраль, нормальный режим работы				
Изолированная нейтраль, аварийный режим работы				

При выполнении работы необходимо принять во внимание допущения, принятые на лабораторном стенде – все сети короткие, моделируется прямое прикосновение к токоведущей части, сопротивление замыкания фазы на землю принято 60 Ом, сопротивление заземляющего устройства минимально (менее 10 Ом).

После заполнения таблицы необходимо построить графики изменения токов поражения при различных условиях в соответствующих координатах.

По окончании выполнения работы необходимо обесточить стенд путём отключения автоматического выключателя QF и сделать вывод по полученным результатам.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы прикосновений к токоведущим частям, для которых были сняты значения силы тока поражения.
3. Заполненную таблицу 1.
4. Графики изменения токов поражения.
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что такое электробезопасность?
2. Пороговые значения токов поражения.
3. Прямое и косвенное прикосновение.
4. Напряжение прикосновения.
5. Влияние длины линии на электробезопасность.
6. Какие факторы влияют на исход поражения при двухполюсном прикосновении?
7. Какой режим работы нейтрали безопаснее при однофазном прикосновении?
8. Меры защиты от прямого прикосновения.
9. Факторы, влияющие на сопротивление тела человека.
10. От чего зависит выбор режима работы нейтрали?

Рекомендуемая литература

1. Малахова, Т. Ф. Воздействие тока на человека: методические указания к практическому занятию по дисциплине «Электробезопасность» [Электронный ресурс] для студентов направления подготовки 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника», образовательная программа «Электроснабжение», всех форм обучения / сост.: Т. Ф. Малахова, С. Г. Захаренко; КузГТУ. – Кемерово, 2015. <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=4112>
2. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утверждены Приказом Минтруда РФ от 24.07.2013 № 328. – Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат», 2014. – 152 с.
3. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – Москва: НТЦПБ, 2012. – 584 с.
4. ГОСТ Р 12.1.009-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения.
5. Электробезопасность. Теория и практика: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки «Электроэнергетика», «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – 3-е изд., перераб. и доп. / П. А. Долин [и др.]; под ред. В. Т. Медведева. – Москва: МЭИ, 2012. – 280 с.
6. Кисаримов, Р. А. Электробезопасность. – 2-е изд. / Р. А. Кисаримов. – Москва: РадиоСофт, 2014. – 336 с.
7. Малахова, Т. Ф. Средства защиты, используемые в электроустановках: методические указания к практическому занятию по дисциплине «Электробезопасность» [Электронный ресурс] для студентов направления 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника», образовательная программа «Электроснабжение», всех форм обучения / сост.: Т. Ф. Малахова, С. Г. Захаренко; КузГТУ. – Кемерово, 2015. <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=4305>
8. Еремин, В. Г. Безопасность жизнедеятельности в энергетике: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автоматизация технолог. процессов и пр-в (энергетика)» направления «Автоматизир. технологии и пр-ва» / В. Г. Еремин [и др.]. – Москва: Академия, 2010. – 400 с.