



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

В. Д. Елкин, О. Г. Широков

СИСТЕМА ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к курсовому и дипломному проекту
для студентов специальностей
1-43 01 03 «Электроснабжение»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 621.311(075.8)
ББК 31.277я73
Е51

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 4 от 20.02.2006 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение»
ГГТУ им. П. О. Сухого *А. Г. Ус*

Елкин, В. Д.

Е51 Система заземления электроустановок : метод. указания к курсовому и дипломному проекту для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» / В. Д. Елкин, О. Г. Широков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 36 с.– Систем. требования: РС не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-622-2.

Приведены требования межгосударственных стандартов по системам заземления электроустановок, по применению устройств защитного отключения для дополнительной защиты людей от поражения электрическим током.

Для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций».

**УДК 621.311(075.8)
ББК 31.277я73**

ISBN 978-985-420-622-2

© Елкин В. Д., Широков О. Г., 2008
© Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», 2008

ВВЕДЕНИЕ

Электрический ток имеет существенные особенности, отличающие его опасность от опасности других вредных и опасных производственных факторов (например, излучающих тепловую, световую энергию и др.)

Первая особенность электрического тока в том, что он не может дистанционно ощущаться человеком ввиду того, что человек не обладает соответствующими органами чувств. Поэтому защитная реакция организма проявляется только после воздействия электрического тока.

Вторая особенность электрического тока состоит в том, что он, протекая через тело человека, оказывает свое действие не только в местах контактов и на пути протекания через организм, но и вызывает рефлекторное воздействие, нарушая нормальную деятельность отдельных органов и систем организма человека (нервной, сердечно-сосудистой, дыхания и др.).

Третьей особенностью является опасность получения электротравмы без непосредственного контакта с токоведущими частями при перемещении по земле (полу) вблизи поврежденной электроустановки (в случае замыкания на землю), через электрическую дугу.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает на него сложное воздействие, являющееся совокупностью термического, электрического, биологического и механического воздействий, что приводит к различным нарушениям в организме, вызывая как местные повреждения тканей и органов, так и общее его повреждение.

Тяжесть поражения электрическим током зависит от целого ряда факторов: величины силы тока, рода тока, частоты тока, длительности его воздействия и пути прохождения через человека, условий окружающей среды, электрического сопротивления тела человека и его индивидуальных свойств.

Поражение людей электрическим током возникает в результате случайного прикосновения или опасного приближения к частям электроустановки, находящимся под напряжением, к конструктивным металлическим частям электроустановок, в нормальных условиях находящихся без напряжения и вследствие повреждения изоляции оказавшимися под напряжением.

Основными мерами защиты от поражения электрическим током являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением, для случайного прикосновения;
- контроль состояния изоляции электроустановок;
- защитное разделение сети;
- применение специальных защитных средств;
- устранение опасности поражения током при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других нетоковедущих частях электрооборудования. Эта опасность устраняется с помощью защитного заземления, зануления, защитного отключения, выравнивания потенциала, двойной изоляции, применения малых напряжений.

На выбор той или иной меры защиты или комплекса защитных мер по электробезопасности влияет ряд обстоятельств: вид электроустановки, значения применяемого напряжения, характер помещения, в котором размещается электрооборудование.

Согласно ГОСТ 12.1.009 «ССТБ. Электробезопасность. Термины и определения» электробезопасность – система организационных и технических средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электробезопасность обеспечивается следующими мерами:

- конструкцией электроустановки;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями.

1. СИСТЕМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

1.1. Термины и определения

Защитное заземление – заземление частей электроустановки с целью обеспечения электробезопасности.

Защитный проводник (РЕ-проводник) – проводник, применяемый для выполнения защитных мер от поражения электрическим током в случае повреждения и для соединения открытых проводящих частей.

Нулевой рабочий проводник (N-проводник) – проводник, используемый для питания электроприемников, соединенный с заземленной нейтралью генератора или трансформатора.

Нулевой защитный проводник (PE-проводник) – проводник, соединяющий зануленные части с заземленной нейтралью генератора или трансформатора.

PEN-проводник – проводник в системе *TN*, который присоединен к заземленной нейтрали источника и одновременно выполняет функции нулевого защитного проводника (*PE*-проводника) и нулевого рабочего проводника (*N*-проводника).

1.2. Типы систем заземления

Система электроснабжения классифицируется Международной электротехнической комиссией (МЭК) в зависимости от способа заземления распределительной сети и применяемых мер защиты от поражения электрическим током. Распределительные сети подразделяются на сети с заземленной нейтралью и сети с изолированной нейтралью.

Стандарт ГОСТ 30331.2–95 (МЭК-364-3–93) подразделяет распределительные сети в зависимости от конфигурации токоведущих проводников, включая нулевой рабочий (нейтральный) проводник, и типов систем заземления.

Типы систем токоведущих проводников переменного тока: однофазные двухпроводные; однофазные трехпроводные; двухфазные трехпроводные; двухфазные пятипроводные; трехфазные четырехпроводные; трехфазные пятипроводные.

Типы систем заземления электрических сетей:

TN-S; *TN-C-S*; *TN-C*; *TT*; *IT* (табл. 1.1 и рис. 1.1а–1.1д).

Используемые на рисунках буквенные обозначения имеют следующий смысл.

Первая буква – характер заземления источника питания:

T – непосредственное присоединение одной точки токоведущих частей источника питания к земле (*terra*);

N – непосредственная связь открытых проводящих частей с точкой заземления источника питания (обычно заземляется нейтраль в системах переменного тока);

I – все токоведущие части изолированы от земли или одна точка заземлена через сопротивление;

T – непосредственная связь открытых проводящих частей с землей, независимо от характера связи источника питания с землей.

Последующие буквы определяют устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

S – функции нулевого защитного и нулевого рабочего обеспечиваются раздельными проводниками;

S – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (*PEN*-проводник).

Первая буква *T* указывает на прямую связь по меньшей мере одной точки сети с землей (*terra*). Например, питаемая от вторичной обмотки трансформатора, соединенной в «звезду», трехфазная распределительная сеть с нейтральным проводником, напряжением 220/380 В с нейтралью, соединенной с землей через заземляющее устройство.

Вторая буква (*T* или *N*) означает тип соединения между открытыми проводящими частями (ОПЧ), защитным заземляющим проводником (заземление оборудования) электроустановки и землей.

Таблица 1.1

Сетевое (рабочее) и защитное заземление

Обозначение системы	Сетевое заземление	Защитное заземление проводящих частей
<i>IT</i>	Непосредственное соединение с землей отсутствует. Допускается соединение с землей через сопротивление, воздушный промежуток, разрядник и т. д.	Непосредственное соединение с землей, независимое от сетевого заземления
<i>TT</i>	Соединение с землей в одной или нескольких точках распределительной сети за пределами сети потребителя	Непосредственное соединение с землей, независимое от сетевого заземления
<i>TN</i>	Соединение с землей в одной точке или нескольких точках распределительной сети и в одной или более точках в сети потребителя	Соединение с «сетевой землей» с помощью <i>PE</i> - или <i>PEN</i> -проводника
<i>TI</i>	Соединение с землей в одной или нескольких точках распределительной сети	Отсутствуют соединения с землей

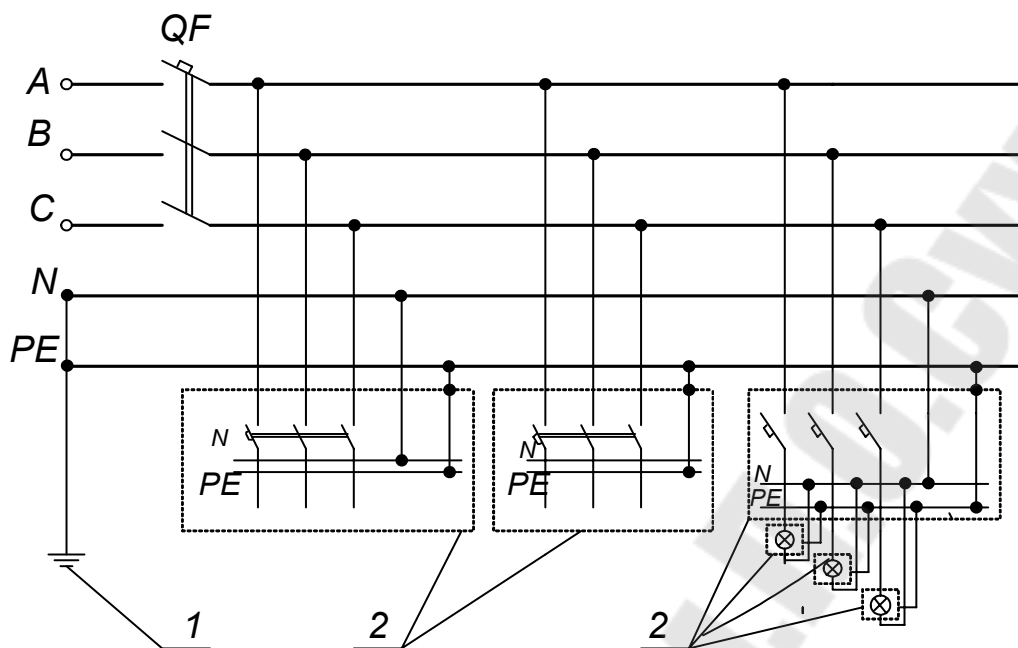


Рис. 1.1а. Система TN-S (нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно):
 1 – заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части

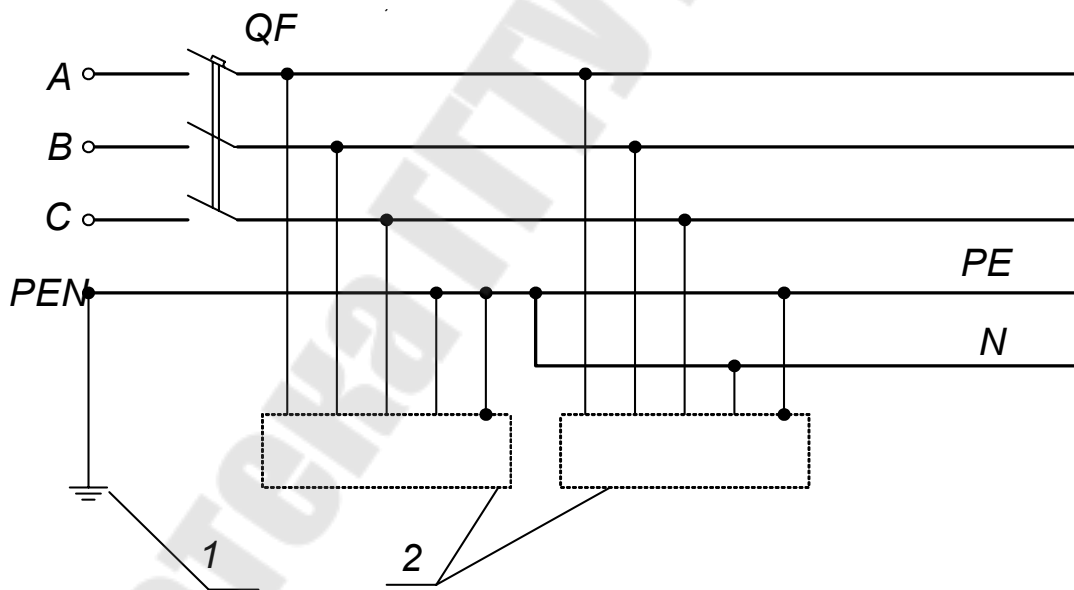


Рис. 1.1б. Система TN-C-S (в части сети нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены):
 1 – заземление источника питания;
 2 – открытые проводящие части

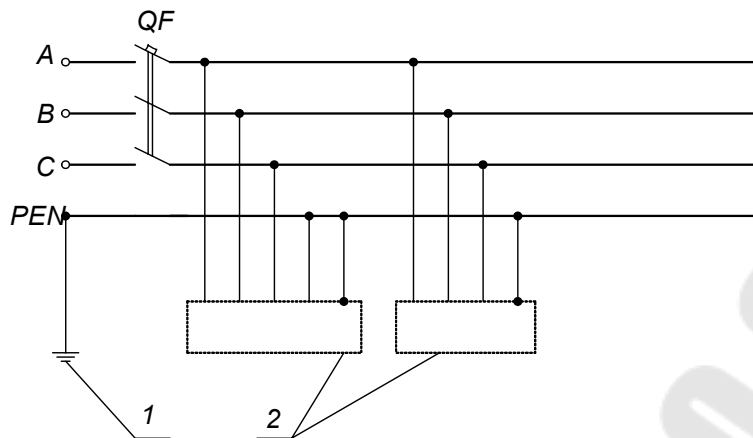


Рис. 1.1в. Система *TN-C* (нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены по всей сети): 1 – заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части

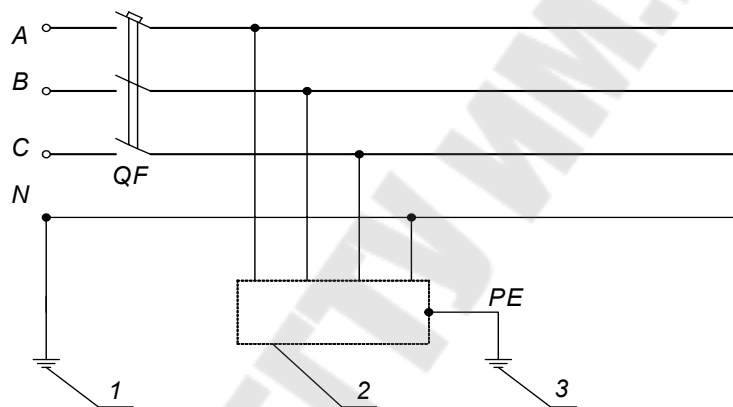


Рис. 1.1г. Система *TT* (открытые проводящие части электроустановки присоединены к заземлителю, электрически независимому от заземлителя нейтрали источника питания): 1 – заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части; 3 – заземление

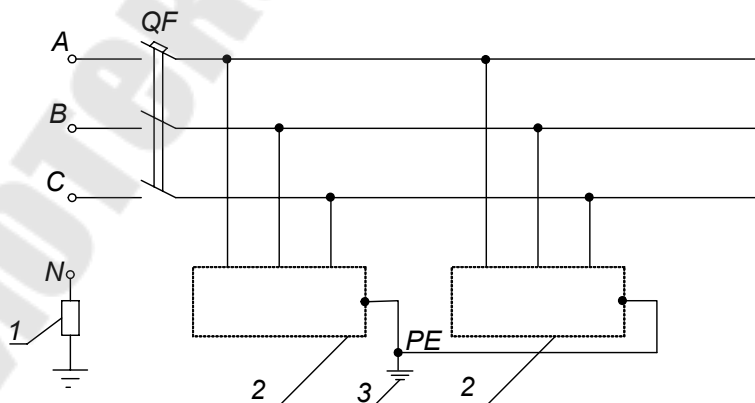


Рис. 1.1д. Система *IT* – питающая сеть с изолированной нейтралью не имеет непосредственной связи токоведущих частей с землей, открытые проводящие части электроустановки заземлены): 1 – сопротивление; 2 – открытые проводящие части, 3 – заземление

Вторая буква *T* означает прямое соединение между открытыми проводящими частями и землей (*terra*), независимое от системы заземления, которое может содержать или не содержать токоведущие части системы.

Вторая буква *N* означает прямое соединение открытых проводящих частей с заземленной точкой сети посредством *PEN*- или *PE*-проводника.

Токосоведущие части сети соединяются с землей для ограничения напряжения, которое может появиться на них в результате прямого удара молнии или вторичных проявлений молнии (индивидуальные волны перенапряжения), или в результате непреднамеренного контакта с линиями более высокого напряжения, или в результате пробоя изоляции токоведущих частей распределительной сети.

Причины, по которым не соединяют токоведущие части распределительной сети с землей, состоят в следующем: во избежание прерыва питания потребителя при единственном повреждении (пробой изоляции на землю токоведущих частей распределительной сети); во избежание искрообразования во взрыво- и пожароопасных зонах при единственном повреждении изоляции токоведущих частей сети.

Заземление электрооборудования, а точнее – заземление открытых проводящих частей, является одной из многочисленных мер, которые могут быть использованы для защиты от поражения электрическим током.

Заземление открытых проводящих частей предполагает создание эквипотенциальной среды, что снижает вероятность появления напряжения на теле человека.

Система TN (защитное заземление нейтрали)

Система *TN* используется для заземления оборудования с целью защиты от косвенного прикосновения к токоведущим частям при повреждении изоляции. *PEN*-проводник или *PE*-проводник присоединяются к заземляющему устройству питающей системы и частям, доступным прикосновению: открытым проводящим частям питаемого электрооборудования (ОПЧ) и сторонним проводящим частям (СПЧ).

В случае повреждения изоляции ток повреждения вызывает срабатывание устройства защиты от сверхтока, которое обеспечивает цепь.

В системе *TN* заземление открытых проводящих частей (ОПЧ) обеспечивает создание для тока замыкания цепи с низким сопротив-

лением, что обеспечивает срабатывание защиты от сверхтока (тока короткого замыкания).

Кроме того, низкое сопротивление цепи обратного тока на участке от доступных проводящих частей (ОПЧ и СПЧ) до заземляющего устройства источника питания ограничивает напряжение прикосновения, которое может появиться на поврежденном оборудовании. Следовательно, это позволяет снизить вероятность поражения электрическим током.

1.3. Нормативные рекомендации для электроустановок напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью (система TN)

Нейтраль генератора, трансформатора на стороне до 1 кВ должна быть присоединена к заземляющему устройству при помощи специального искусственного заземляющего проводника (*PE*-проводника).

Использование нулевого рабочего проводника (*N*-проводника), идущего от нейтрали генератора или трансформатора на щит распределительного устройства, в качестве заземляющего проводника не допускается.

В качестве заземляющего устройства рекомендуется в первую очередь использовать железобетонные фундаменты производственных зданий и сооружений. В этом случае нейтраль трансформатора следует заземлять путем присоединения к металлической или железобетонной колонне здания или сооружения.

При отсутствии возможности использовать железобетонные фундаменты производственных зданий и сооружений должно быть сооружено искусственное заземляющее устройство в непосредственной близости от генератора или трансформатора. В отдельных случаях, например, для внутрицеховых подстанций, допускается сооружать заземляющее устройство около стены здания.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4, 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380, 220 В источника трехфазного тока или 380, 220, 127 В источника однофазного тока.

Все доступные прикосновению открытые проводящие части электроустановок должны быть присоединены к заземленной нейтральной точке источника питания посредством защитных проводников.

В стационарных электроустановках функцию защитного и нулевого рабочего провода можно совместить в одном проводнике (*PEN*) при условии выполнения следующих требований:

- если его сечение не менее 10 мм^2 по меди или 16 мм^2 по алюминию и рассматриваемая часть электроустановки не защищена устройствами защитного отключения, реагирующими на дифференциальные токи;

- если, начиная с какой-либо точки установки, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены, запрещается объединять их за этой точкой. В точке разделения необходимо предусмотреть отдельные зажимы или шины нулевого рабочего и нулевого защитного проводников. *PEN*-проводник, совмещающий функции рабочего и защитного, должен подключаться к зажиму, предназначенному для защитного проводника.

Сторонние проводящие части не могут быть использованы в качестве единственного *PEN*-проводника.

В цепи *PEN*-проводника допускается устанавливать выключатели, которые одновременно с отключением *PEN*-проводника отключают все находящиеся под напряжением проводники.

Не допускается использование *PEN*-проводника для питания электроприемников однофазного тока. Для питания таких электроприемников в качестве нулевого рабочего проводника (*N*-проводника) должен быть использован отдельный третий проводник, присоединенный к *PEN*-проводнику в ответвительной коробке, в низковольтном комплектном устройстве.

1.4. Меры защиты от поражения электрическим током

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека или, при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая значением тока, проходящего через тело человека, или же напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов:

- схемы замыкания цепи через тело человека;

- напряжения сети;
- режима нейтрали сети (нейтраль изолирована или заземлена);
- сопротивления тела человека;
- степени изоляции токоведущих частей от земли;
- значения емкости токоведущих частей относительно земли.

Следовательно, в одних случаях замыкание цепи тока через тело человека будет сопровождаться прохождением через него малых токов или окажется неопасным, в других – токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Наиболее типичными являются два случая замыкания цепи через тело человека:

1) касание одновременно двух проводов сети (двухфазное прикосновение);

2) касание одного провода (однофазное прикосновение).

Двухфазное прикосновение (рис. 1.2) более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение – линейное и поэтому через человека пойдет больший ток, А:

$$I_h = \frac{U_{л}}{R_h}, \quad (1.1)$$

где $U_{л}$ – линейное напряжение, В; R_h – сопротивление тела человека (в расчетах принимается 1000 Ом).

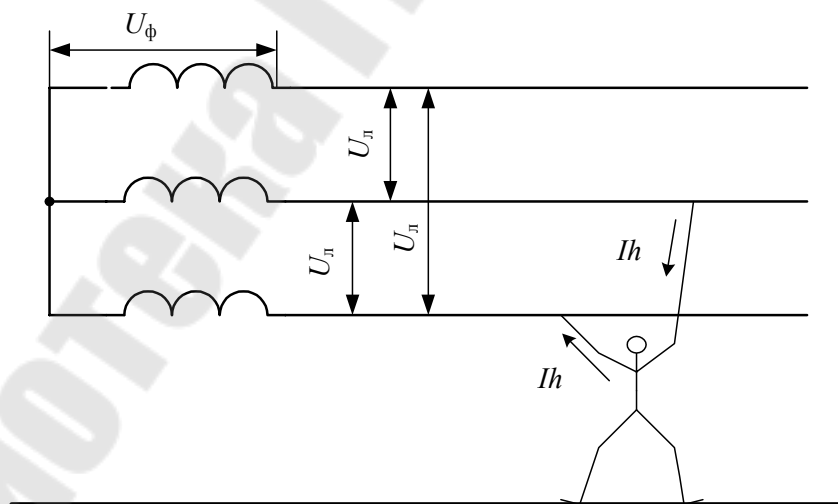


Рис. 1.2. Прикосновение человека к двум фазам

При двухфазном прикосновении ток, проходящий через тело человека, практически не зависит от режима нейтрали сети, следовательно, двухфазное прикосновение является одинаково опасным как

в сети с изолированной, так и заземленной нейтралью. При двухфазном прикосновении опасность поражения не уменьшится и в случае, если человек будет надежно изолирован от земли, т. е. иметь на ногах диэлектрические галоши или боты либо будет стоять на изолирующем полу или диэлектрическом ковре.

Однофазное прикосновение

В сети с заземленной нейтралью (рис. 1.3) цепь тока, проходящего через человека, включает: сопротивление тела человека; сопротивление обуви; сопротивление пола; сопротивление заземления нейтрали источника тока (генератора или трансформатора). Все эти сопротивления включены последовательно.

Ток, проходящий через человека, определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{\text{обуви}} + R_{\text{пола}} + R_3}, \quad (1.2)$$

где U_ϕ – фазное напряжение, В; R_h , $R_{\text{обуви}}$, $R_{\text{пола}}$, R_3 – сопротивление тела человека, обуви, пола, заземления нейтрали, Ом.

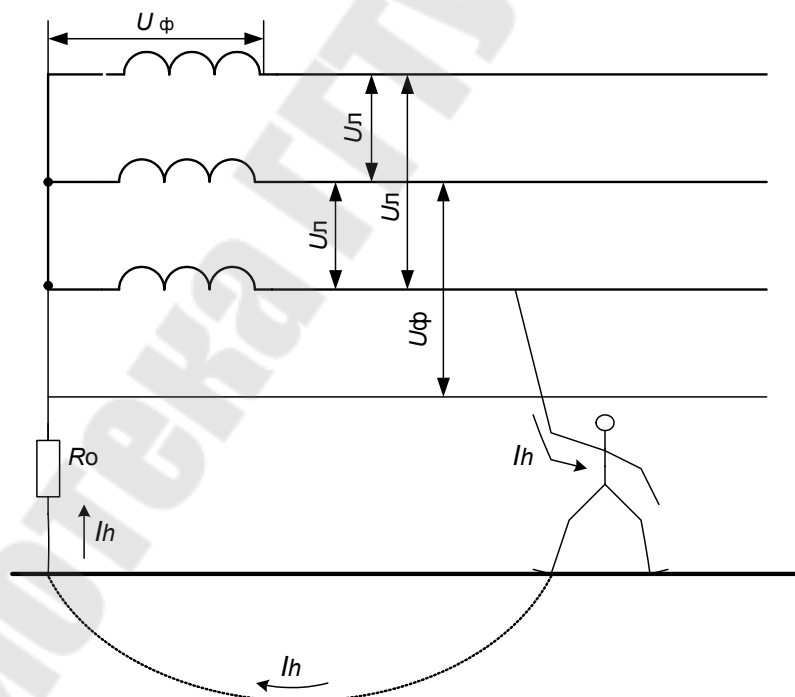


Рис. 1.3. Прикосновение человека к одной фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью

В сети с изолированной нейтралью (рис. 1.4) ток, проходящий через тело человека в землю, возвращается к источнику тока через

изоляцию проводов сети, которая в исправном состоянии обладает большим сопротивлением.

Ток, проходящий через человека, для этого случая определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + R_{\text{обуви}} + R_{\text{пола}} + \frac{R_{\text{изол}}}{3}}, \quad (1.3)$$

где $R_{\text{изол}}$ – сопротивление изоляции проводов (кабелей), Ом.

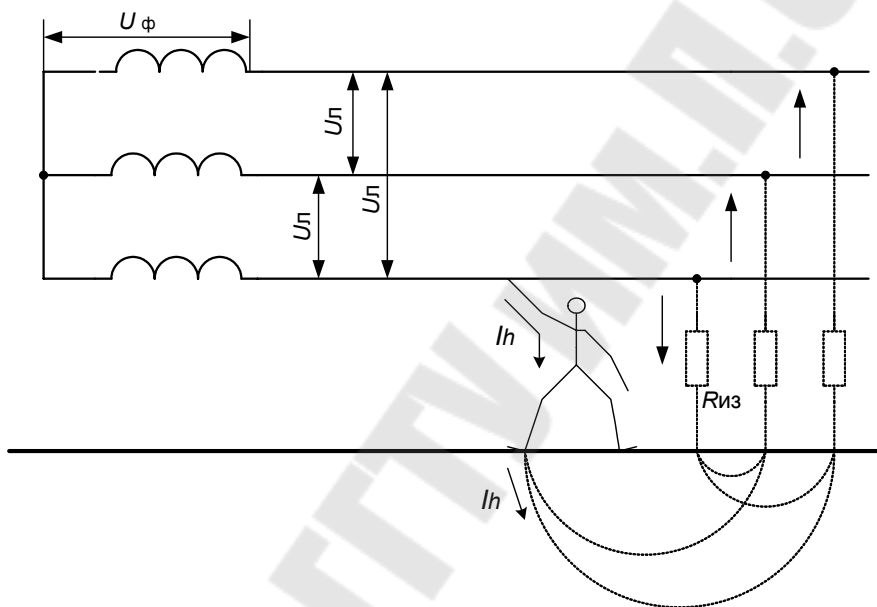


Рис. 1.4. Прикосновение человека к одной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью

Защитное заземление

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус.

Задача защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшейся под напряжением.

Принцип действия заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения.

Рассмотрим два случая:

Если корпус электрооборудования не заземлен, то прикосновение человека к корпусу, который оказался в контакте с фазой равносильно прикосновению к фазе. В этом случае ток, проходящий через человека, определяется по формуле (1.3).

Если корпус заземлен (рис. 1.5), то ток, проходящий через человека при $R_{\text{обуви}} + R_{\text{пола}} = 0$, можно определить по выражению

$$I_h = \frac{3U_{\phi}}{R_h \cdot R_{\text{изол}}} \cdot R_3. \quad (1.4)$$

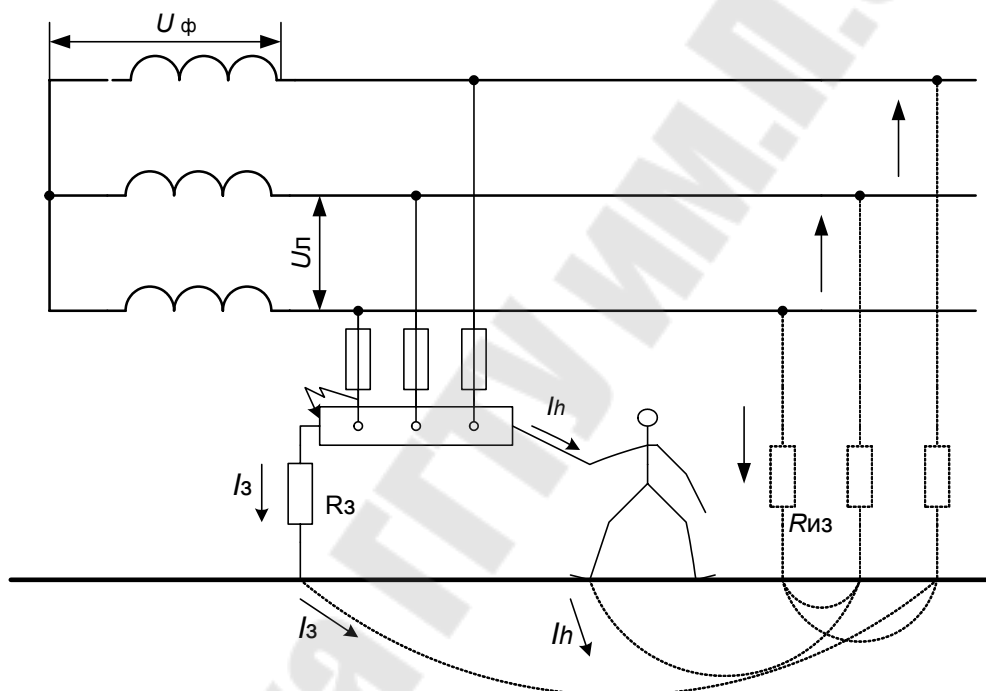


Рис. 1.5. Корпус электроприемника заземлен

Зануление

Занулением называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

Принцип действия зануления – превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (замыкание между фазным и нулевым проводниками) с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную установку от питающей сети.

Зануление требует наличия в сети нулевого защитного проводника, заземления нейтрали источника тока и повторного заземления нулевого защитного проводника.

Назначение нулевого защитного проводника. Различают нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

Нулевым защитным проводником называется проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока (генератора или трансформатора).

Нулевым рабочим проводником называется проводник, служащий для питания током электроприемников и соединенный с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока (генератора или трансформатора).

При замыкании фазы на корпус (рис. 1.6) по цепи, образовавшейся через землю, будет проходить ток

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_{\text{обуви}} + R_3}, \quad (1.5)$$

на корпусе относительно земли возникает напряжение

$$U_k = I_3 \cdot R_3 = U_\phi \cdot \frac{R_3}{R_{\text{обуви}} + R_3}. \quad (1.6)$$

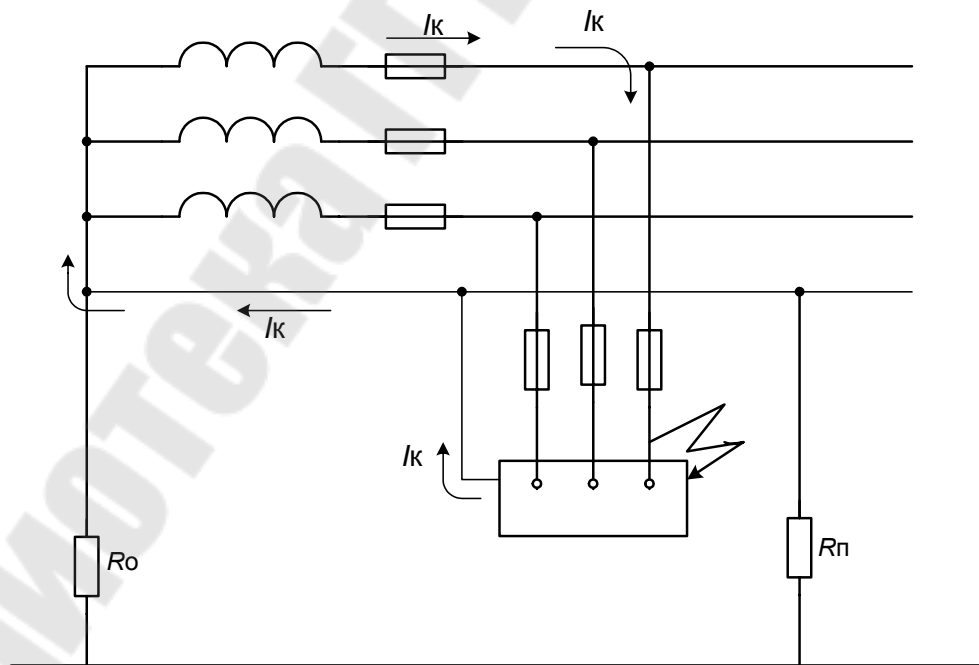


Рис. 1.6. Принципиальная схема зануления

Назначение заземления нейтрали – снижение до безопасного значения напряжения относительно земли нулевого защитного провода.

Назначение повторного заземления нулевого защитного провода – уменьшение опасности поражения людей электрическим током, возникающей при обрыве нулевого защитного провода и замыкания фазы на корпус за местом обрыва.

Если нулевой защитный проводник будет иметь повторное заземление, то при его обрыве сохранится цепь тока I_3 через землю (рис. 1.7), благодаря чему напряжение зануленных корпусов относительно земли, находящихся за местом обрыва, снизится до значения

$$U_{\text{к}} = I_3 \cdot R_{\text{п}} = U_{\text{ф}} \cdot \frac{R_{\text{п}}}{R_{\text{обуви}} + R_{\text{п}}} \quad (1.7)$$

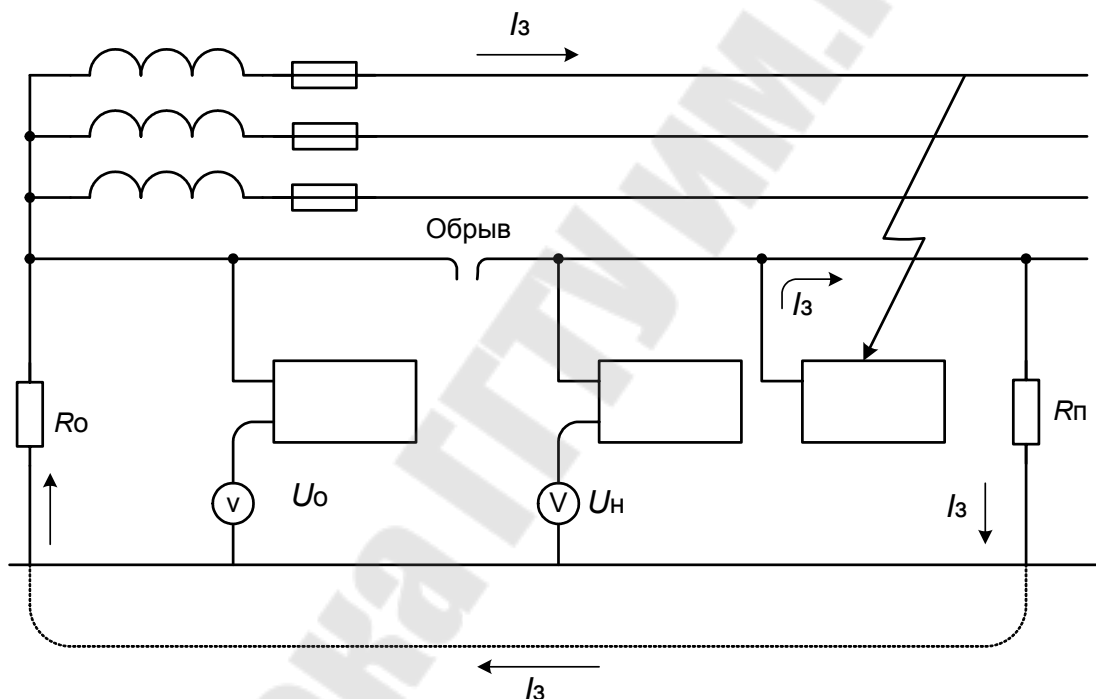


Рис. 1.7. Замыкание фазы на корпус при обрыве нулевого защитного проводника

1.5. Расчет заземляющих устройств

При расчете заземляющего устройства определяют тип заземлителей, их количество и место размещения, а также сечение заземляющих проводников.

Сопротивление растеканию заземлителей в основном зависит от удельного сопротивления грунта ρ , которое определяется в зависимости от состава почвы, ее влажности, температуры, плотности прилегания частиц, наличия растворимых солей и пр.

Ниже приведены величины удельного сопротивления грунта ρ (Ом · м), полученные на основании опытных данных при влажности грунта 10–20 %:

песок	700 Ом · м;
супесок	300 Ом · м;
суглинок	100 Ом · м;
глина	40 Ом · м;
садовая земля	40 Ом · м;
чернозем	20 Ом · м;
торф	20 Ом · м.

Зная расчетное удельное сопротивление грунта, можно определить сопротивление одиночного заземлителя.

Сопротивление вертикального заземлителя определяется по формуле

$$R_0 = \left(\frac{0,366 \cdot \rho}{l} \right) \lg \left(\frac{41}{d} \right), \quad (1.8)$$

где l – длина, м; d – диаметр, мм.

В расчетах можно пользоваться упрощенными формулами:

– для углубленного пруткового электрода диаметром 12 мм, длиной 5 м:

$$R_0 = 0,00227 \cdot \rho;$$

– для электрода из угловой стали размером 50 × 50 × 5 мм, длиной 2,5 м:

$$R_0 = 0,0034 \cdot \rho;$$

– для электрода из трубы диаметром 60 мм, длиной 2,5 м:

$$R_0 = 0,00325 \cdot \rho,$$

где ρ – удельное сопротивление грунта выражено в Ом · см.

Число вертикальных заземлителей определяется по формуле

$$n = \frac{R_0}{\eta \cdot R_3}, \quad (1.9)$$

где η – коэффициент экранирования (использования) трубчатых заземлителей определяется по табл. 1.2; R_3 – сопротивление заземляющего устройства при линейном напряжении 380 В.

Таблица 1.2

Коэффициент экранирования

Число трубчатых заземлителей	Коэффициент экранирования η при отношении расстояния между трубами к их длине (a/l)					
	3	2	1	3	2	1
	Трубы размещены в ряд			Трубы размещены по контуру		
5	0,87	0,8	0,68	–	–	–
10	0,83	0,7	0,55	0,78	0,67	0,59
20	0,77	0,62	0,47	0,72	0,60	0,43
30	0,75	0,6	0,40	0,71	0,59	0,42
50	0,73	0,58	0,30	0,68	0,52	0,37
100	–	–	–	0,64	0,48	0,33

Пример. Рассчитать количество электродов контура заземления заземляющего устройства комплектной трансформаторной подстанции (КТП 630/10/0,4), установленной внутри цеха. Удельное сопротивление грунта в месте сооружения подстанции – грунт супесок $\rho = 300 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ($30000 \text{ Ом} \cdot \text{см}$).

Решение. В качестве вертикальных заземлителей выбираем прутковые электроды из стальной проволоки диаметром 12 мм, длиной 5 м.

Сопротивление вертикальных заземлителей определим по выражению

$$R_0 = 0,00227 \cdot 30000 = 68,1 \text{ Ом}.$$

Тогда количество вертикальных прутковых электродов будет равно

$$n = 68,1/4 = 17 \text{ шт.}$$

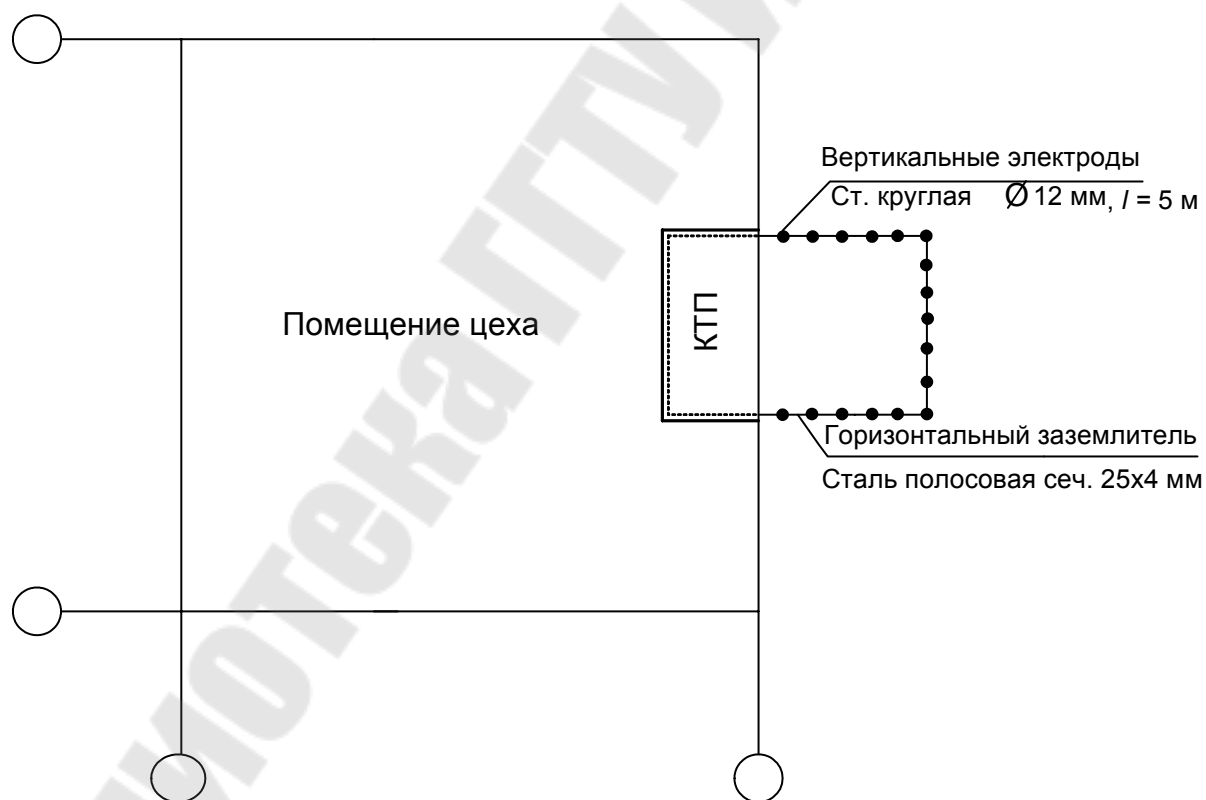


Рис. 1.8. Схема размещения вертикальных и горизонтальных заземлителей

2. ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

2.1. Устройства защитного отключения

На основании ГОСТ 30331.3–95 (МЭК 364-4-41–92) «Электроустановки зданий», часть 4 «Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током» следует применять в электроустановках зданий и сооружений, включая жилые и общественные здания, устройства защитного отключения (УЗО) в качестве дополнительной меры защиты от поражения электрическим током в случае прямого прикосновения к токоведущим частям, либо металлическим корпусам электроустановок, оказавшихся под потенциалом относительно «земли».

2.2. Назначение устройства защитного отключения

Защитным отключением называется быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током.

Назначение устройства защитного отключения (УЗО):

- защита от косвенного прикосновения, когда человек касается корпуса электроприемника, оказавшегося под напряжением вследствие повреждения изоляции;
- защита от прямого прикосновения, когда человек непосредственно касается фазного провода источника питания;
- защита от пожара, который может возникнуть из-за чрезмерных токов утечки.

УЗО должны применяться в комбинации с аппаратом защиты (автоматическим выключателем или предохранителем).

Место установки УЗО и защищаемая область (электроустановка в целом, ее часть или отдельный электроприемник) определяются нормативными документами и заданием на проектирование.

Применение УЗО является обязательным в следующих случаях:

- для групповых линий, питающих розеточные сети, находящиеся вне помещений;
- для групповых линий, питающих розеточные сети, находящиеся в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью в отношении поражения электрическим током;
- для групповых линий питания светильников местного стационарного освещения при напряжении сети выше 25 В, устанавливаемых в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью поражения электрическим током;

– для групповых линий питания светильников общего освещения, устанавливаемых в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью поражения электрическим током при высоте установки менее 2,5 м над полом или площадкой обслуживания;

– для групповых линий, питающих розетки на столах учеников в кабинетах и лабораториях школ;

– для систем стационарного обогрева;

– для групповых линий мобильных (инвентарных) зданий из металла или с металлическим каркасом, предназначенных для уличной торговли, а также в передвижных и стационарных вагончиках с местами для проживания;

– для групповых линий, питающих электроприемники, монтируемые в ваннах, душевых и парильных помещениях (если они присоединены без разделительного трансформатора);

– для групповых сетей установок световой рекламы и архитектурного освещения зданий;

– в случае, когда устройство защиты от сверхтока не обеспечивает нормируемое время автоматического отключения из-за низких значений токов короткого замыкания и электроустановка не охвачена системой уравнивания электрических потенциалов.

Применение УЗО рекомендуется в следующих случаях:

– для электронагревательных кабелей, монтируемых в земле и на открытых пространствах;

– для групповых линий, питающих штепсельные розетки на столах для проведения опытов в высших и средних специальных учебных заведениях;

– для групповых линий, питающих штепсельные розетки, электроплиты, насосы, электронагреватели в квартирах, коттеджах, в домах на участках садоводческих товариществ и в хозпостройках;

– для групповых линий, питающих демонстрационные стенды;

– в действующем жилом фонде с двухпроводными сетями, где электроприемники не имеют защитного заземления (в этом случае УЗО срабатывает только при появлении дифференциального тока, т. е. при непосредственном прикосновении к токоведущим частям);

– в сетях, где токи короткого замыкания недостаточны для срабатывания максимальной токовой защиты.

Запрещается применение УЗО с действием их на отключение для электроприемников, отключение которых может привести к опасным последствиям: создание непосредственной угрозы для жизни людей, возникновению взрывов, пожаров и т. п.

Установка УЗО на линиях, питающих установку охранно-пожарной сигнализации, не допускается.

Технические данные дифференциальных автоматических выключателей (УЗО) приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Технические данные устройств защитного отключения

Наименование устройства	Изготовитель	Параметры					Примечание
		Число фаз	$U_{ном}$	$I_{ном}$	$I_{ср}$	$t_{ср}$	
1. УЗО25.4010У3	Гомельский з-д электроаппаратуры	3	380	25	0,01	0,05	Необходимо устройство защиты от сверхтоков
2. УЗО Ш.102.010 УХЛ4	-//-	1	220	10	0,01	0,02	
3. УЗО 20-ВАД1	Приборостроительный з-д, г. Ставрополь	1	220	10	0,01	0,05	Совмещено с защитой от сверхтоков
	16			0,01			
	25			0,03			
	32			0,03			
	40			0,03			
	50	0,03					
4. Дифференциальный автоматический выключатель	«Шнейдер электрик», Германия	1	220	10	0,03	0,03	Совмещено с защитой от сверхтоков
	16						
	25						
	30						
	40						
5. УЗО-М-304-2(4)	Московский з-д электроизмерительных приборов	1	220	16-63	0,01	0,03	
	3	380					
6. АСТРО-УЗО	«Технопарк Астро-Гермес», г. Москва	1	220	16	0,01	0,02	
				25	0,01	0,03	
				40	0,03	0,03	
				63	0,03	0,03	
		3	380	40	0,03	0,03	
		63	0,1	0,03			

При выборе типов УЗО необходимо руководствоваться следующим:

– устройства должны быть сертифицированы в Республике Беларусь в установленном порядке;

– технические условия на изготовление должны быть согласованы с Госэнергонадзором Республики Беларусь и УГПН МЧС Республики Беларусь.

Для защиты от поражения электрическим током УЗО, как правило, должны применяться в отдельных групповых линиях. Допускается присоединение к одному УЗО нескольких групповых линий через отдельные автоматические выключатели (предохранители).

Для обеспечения нормальной работы УЗО следует при проектировании и выполнении электромонтажных работ учитывать следующее:

– нулевой рабочий проводник N должен быть обязательно включен в цепь УЗО;

– в цепи, защищаемой УЗО, нулевой рабочий проводник N не должен соединяться с зануленными (заземленными) корпусами электрооборудования, с заземленными контактами штепсельных розеток, поэтому нулевые рабочие проводники N отдельных электроприемников и нулевые рабочие шины N щитков, включенных после УЗО, должны быть изолированы от их металлических корпусов;

– в зоне действия УЗО нулевой рабочий проводник не должен иметь соединений с заземленными элементами и нулевым защитным проводником;

– при выборе проводников следует учитывать возможность их присоединения к УЗО, т. к. многие импортные УЗО допускают подключение только проводников с медными жилами.

На рис. 2.1 приведено графическое изображение дифференциального выключателя (УЗО) в схемах проектов электроснабжения.

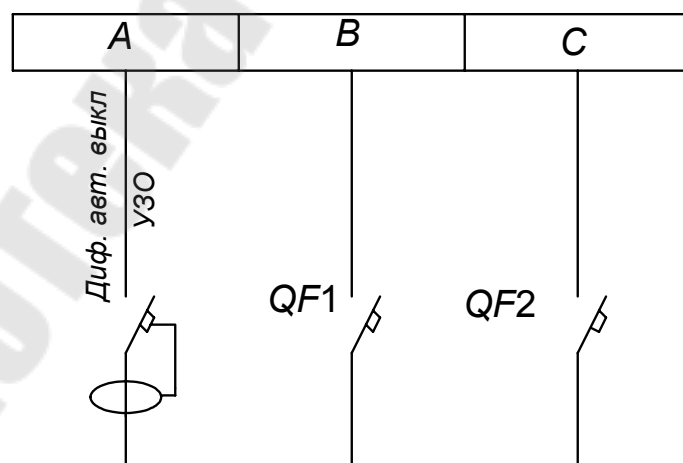


Рис. 2.1. Пример графического обозначения дифференциального автоматического выключателя или УЗО в схемах

Конструкцией дифференциальных выключателей (УЗО) предусмотрено крепление на монтажной шине (*DIN*-рейке), имеющей размеры $35 \times 7,5$ мм и выполненной из стального профиля толщиной 1 мм.

Конструктивная схема и габариты серийно выпускаемых устройств УЗО приведены на рис. 2.2.

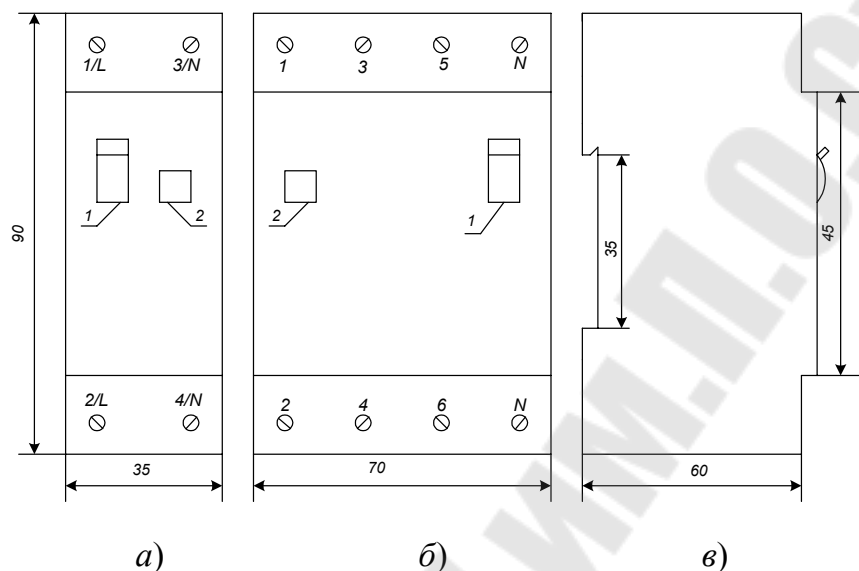


Рис. 2.2. Конструктивная схема и габаритные размеры дифференциального выключателя (УЗО):
a – двухполюсное; *б* – четырехполюсное; *в* – вид сбоку;
 1 – рычаг включения УЗО; 2 – «тест» (контроль)

Внешний вид дифференциальных выключателей (УЗО) представлен на рис. 2.3.

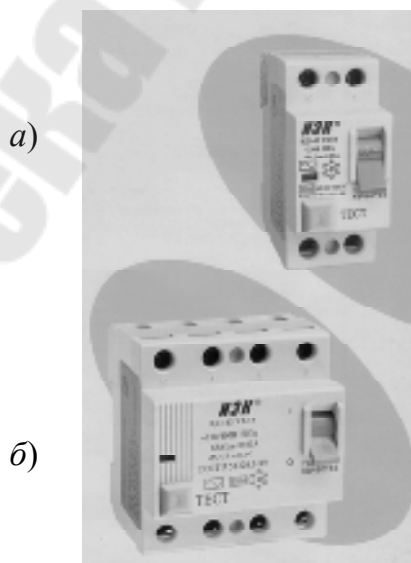


Рис. 2.3. Внешний вид дифференциальных выключателей (УЗО):
a – двухполюсное; *б* – четырехполюсное

2.3. Применение устройств защитного отключения в электроустановках зданий

Система $TN-S$ – питающая сеть с глухозаземленной нейтралью. Открытые проводящие части электроустановки присоединяются к нейтрали трансформатора нулевым защитным проводником PE , работающим отдельно по всей сети с нулевым рабочим проводником N (рис. 2.4).

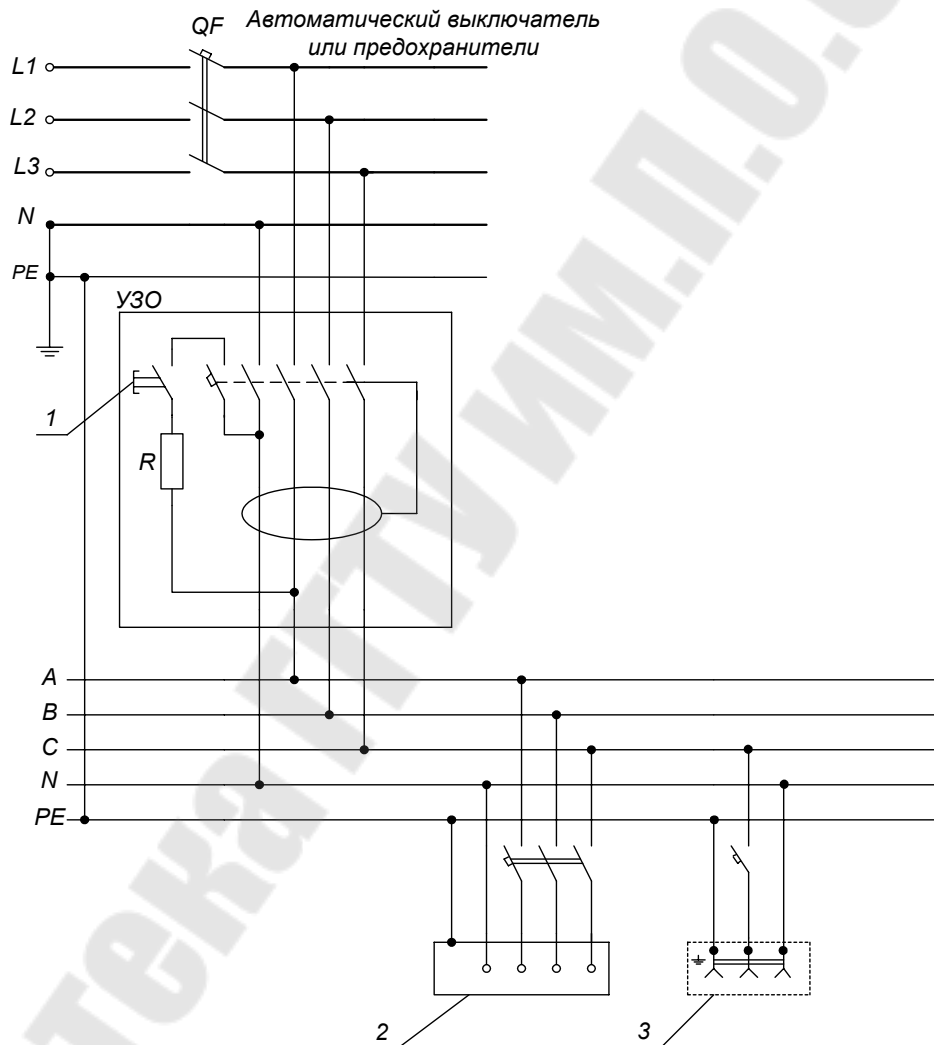


Рис. 2.4. Сеть $TN-S$ с глухозаземленной нейтралью трансформатора, с нулевым рабочим N и нулевым защитным PE раздельными проводниками:

- 1 – кнопка «тест» (контроль);
- 2 – электроприемник;
- 3 – штепсельная розетка с защитным контактом

Система $TN-C$ – питающая сеть с глухозаземленной нейтралью. Открытые проводящие части электроустановки присоединяются к нейтрали трансформатора объединенным нулевым защитным и нулевым рабочим проводником PEN .

Применение УЗО в такой цепи не разрешается по двум причинам.

Во-первых, ток повреждения, который протекает от доступных проводящих частей поврежденного электрооборудования через человека и возвращается в *PEN*-проводник (рис. 2.5), не воздействует на защитное отключающее устройство как дифференциальный (разностный) ток. Ток повреждения не будет различим. Значительная часть тока повреждения будет возвращаться к источнику питания через устройство защитного отключения. Ток может возвращаться также через другое оборудование, корпуса которого имеют случайное или преднамеренное соединение с *PEN*-проводником. В этом случае УЗО будет бесполезно.

Во-вторых, если корпуса электрооборудования заземлены (занулены) посредством *PEN*-проводника и корпуса имеют контакт с землей, часть тока нагрузки может возвращаться к источнику питания через землю при нормальных условиях. Эта часть тока будет восприниматься защитно-отключающим устройством как дифференциальный (разностный) ток и устройство будет срабатывать, если эта часть тока, проходящая через землю, будет больше тока уставки защитно-отключающего устройства. Величина тока уставки, как правило, не превышает 0,5 А.

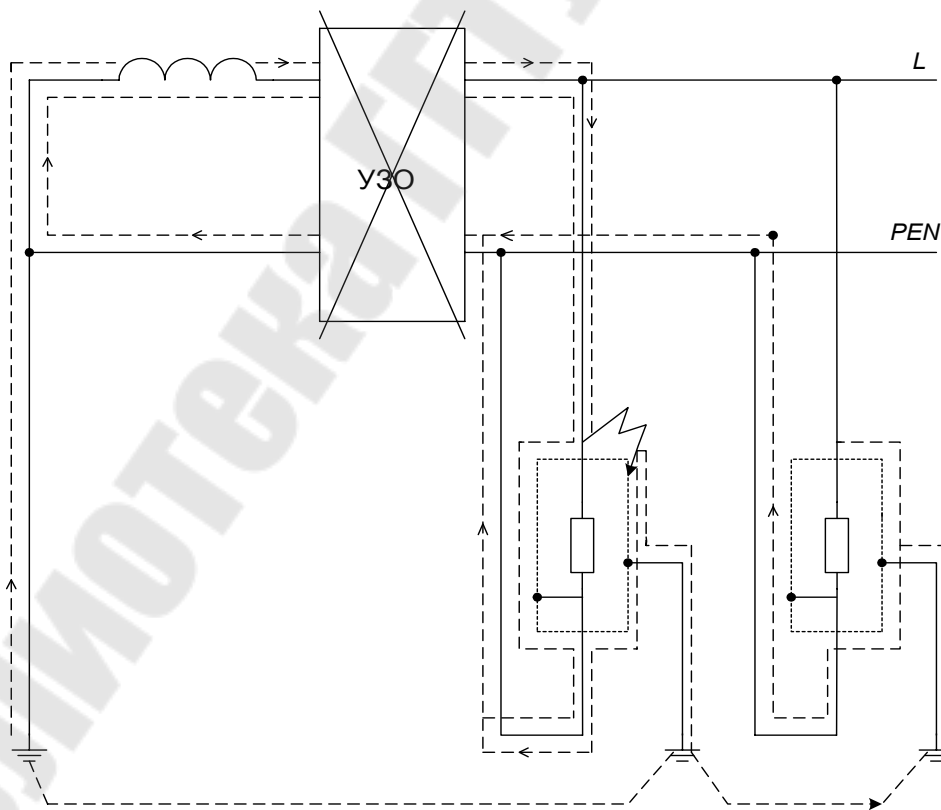


Рис. 2.5. Система *TN-C* (однофазная сеть)

Система $TN-C-S$ – питающая сеть с глухозаземленной нейтралью, с отдельным нулевым защитным проводником PE и нулевым рабочим проводником N , соединяемые в электроустановке до ввода в УЗО. Открытые проводящие части электроустановки присоединяются к нейтрали трансформатора нулевым защитным проводником PE до ввода в УЗО и объединенным нулевым защитным и нулевым рабочим проводником PEN (рис. 2.6).

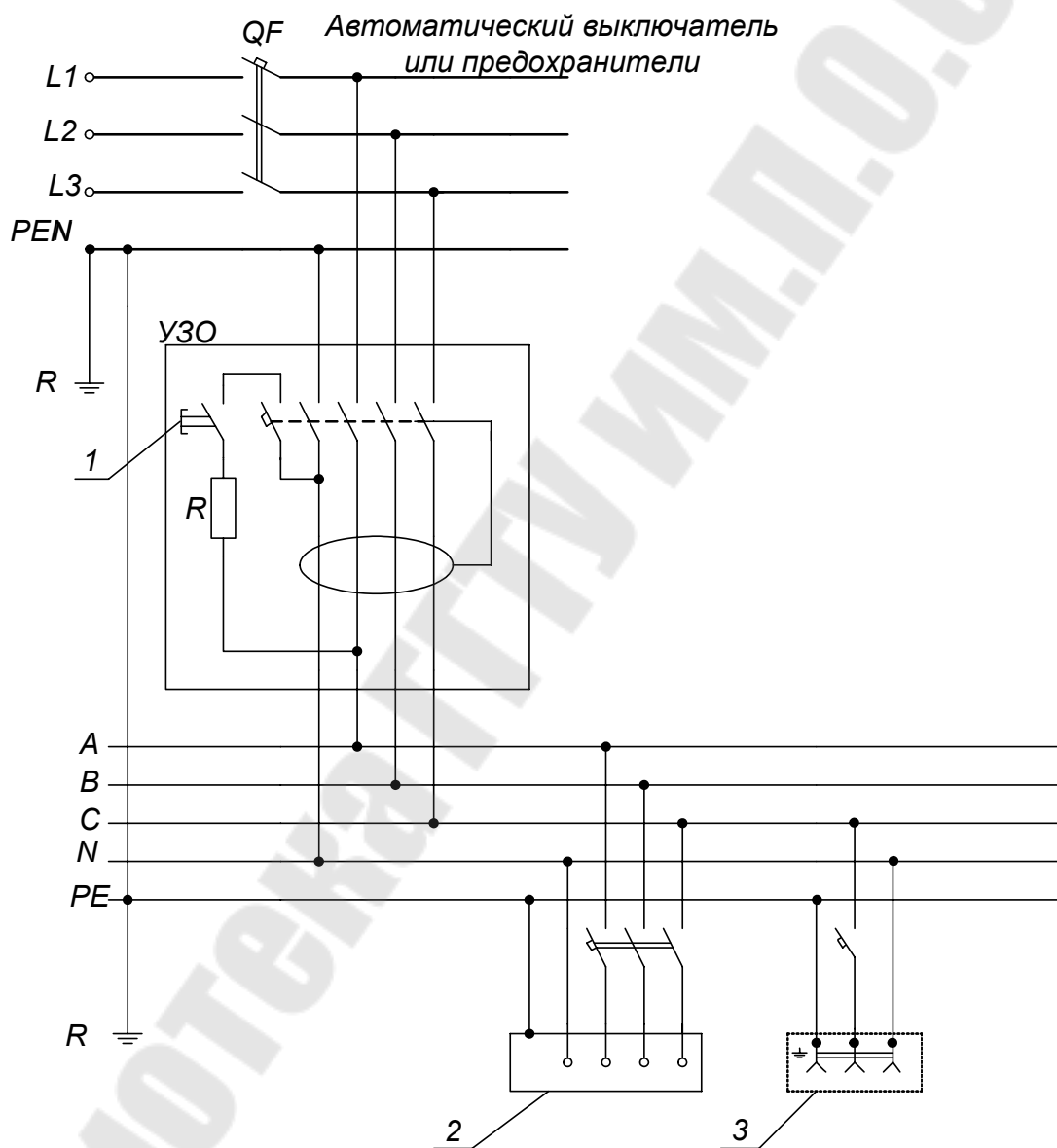


Рис. 2.6. Сеть $TN-C-S$ с глухозаземленной нейтралью трансформатора, зануление с нулевым рабочим проводником N и нулевым защитным проводником PE , соединяемые до ввода в УЗО: 1 – кнопка «тест» (контроль); 2 – электроприемник; 3 – штепсельная розетка с защитным контактом; R – рабочее заземление нейтрали трансформатора; R_A – защитное заземление

Система TT – питающая сеть с глухозаземленной нейтралью. Открытые проводящие части электроустановки присоединяются нулевым защитным проводником PE к заземлителю, электрически независимому от заземлителя нейтрали трансформатора (рис. 2.7).

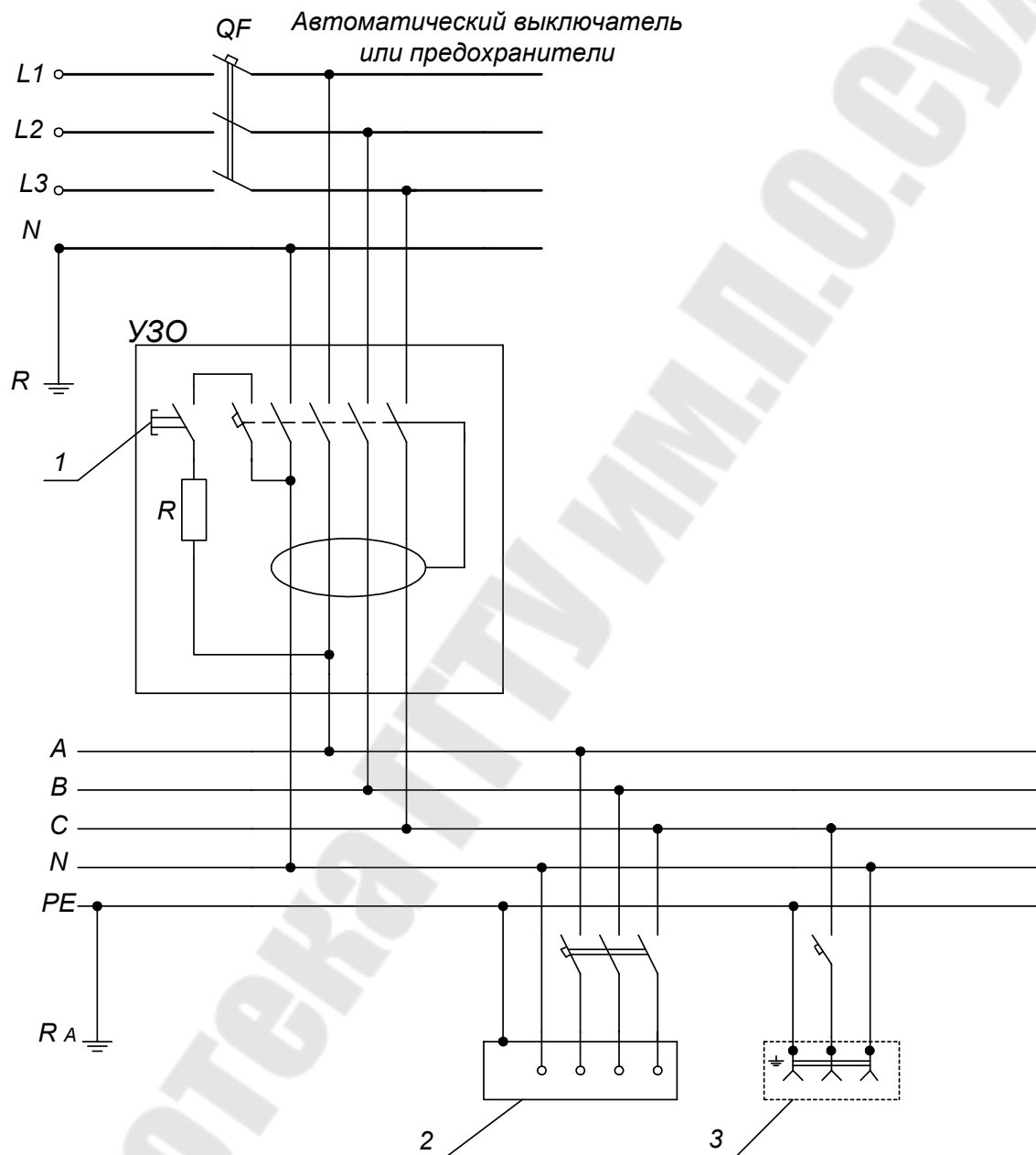


Рис. 2.7. Сеть TT с глухозаземленной нейтралью трансформатора, с нулевым рабочим проводником N и нулевым защитным проводником PE и защитным заземлением электроустановки: 1 – кнопка «тест» (контроль); 2 – электроприемник; 3 – штепсельная розетка с защитным контактом; R – рабочее заземление нейтрали трансформатора; R_A – защитное заземление

Система *IT* – питающая сеть с изолированной нейтралью. Открытые проводящие части электроустановки присоединяются нулевым защитным проводником *PE* к заземлителю (рис. 2.8).

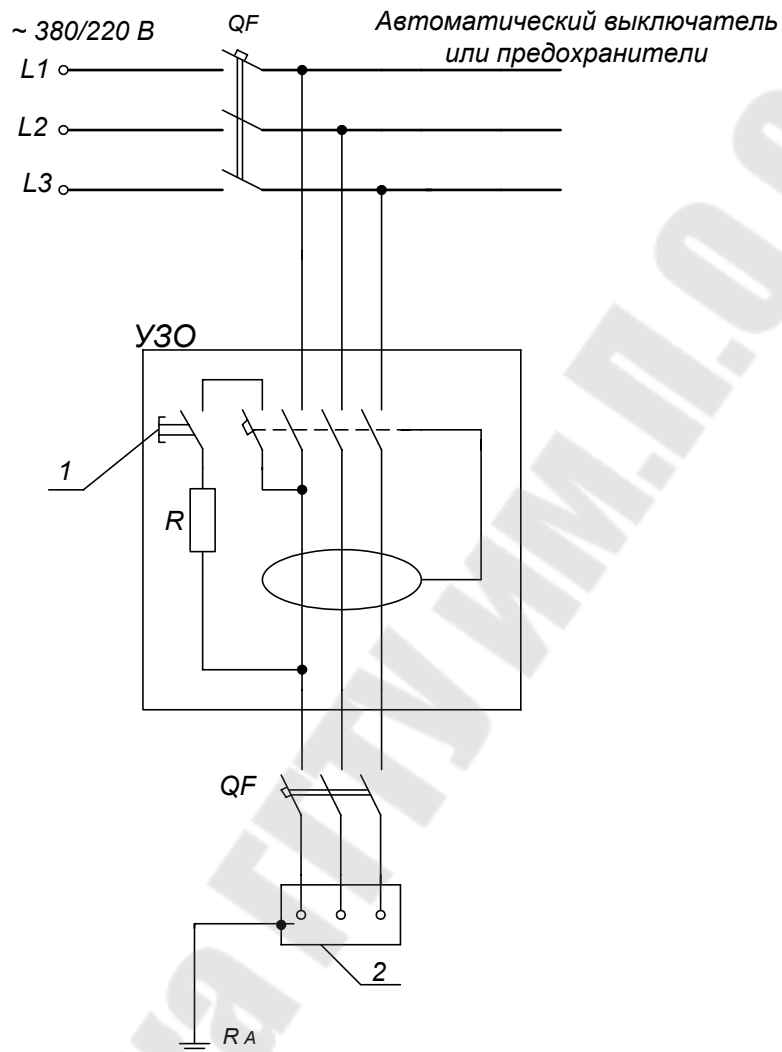


Рис. 2.8. Сеть *IT* с изолированной нейтралью трансформатора:
 1 – кнопка «тест» (контроль); 2 – электроприемники, защитное заземление

На рис. 2.9 и 2.10 приведены примеры схем установки УЗО в однофазной сети напряжением 220 В.

Схема на рис. 2.9 применима для дачных и садовых домиков, торговых павильонов, киосков, боксовых гаражей, для которых требуется установка счетчиков электрической энергии.

Схема на рис. 2.10 применяется при наличии централизованного учета электрической энергии для подключения штепсельных розеток в ванных комнатах, питания отдельных электроприемников наружных установок и т. д.

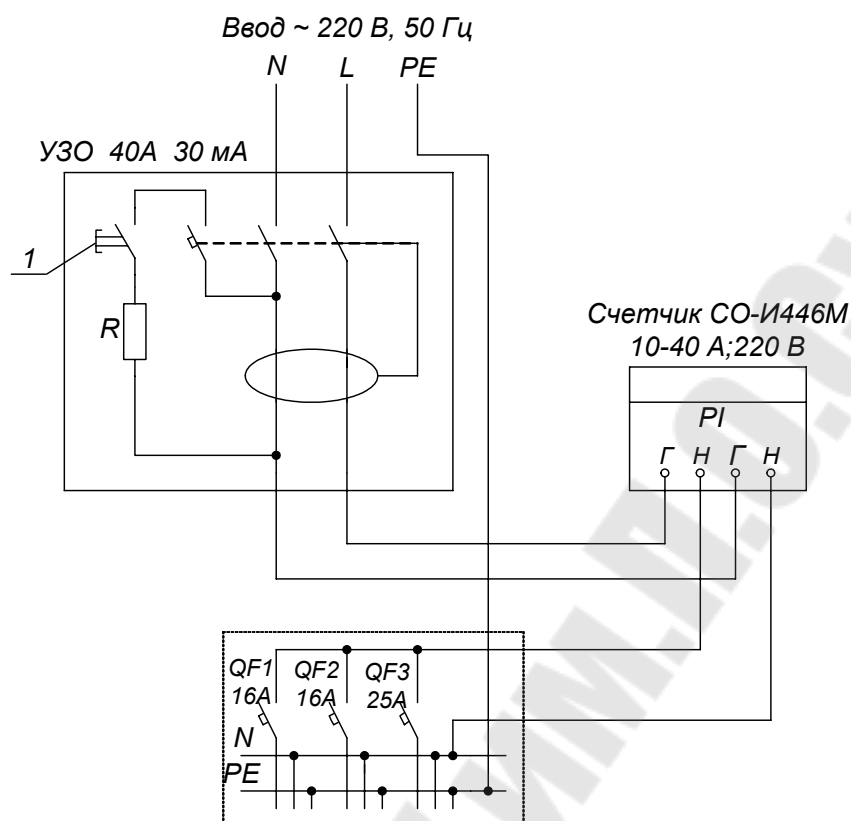


Рис. 2.9. Электрическая схема щитка с двухполюсным УЗО и счетчиком: 1 – кнопка «тест» (контроль)

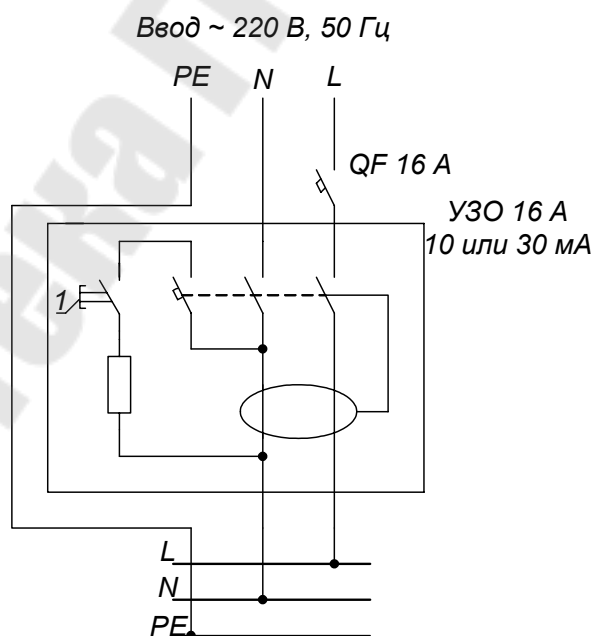


Рис. 2.10. Электрическая схема щитка с двухполюсным УЗО: 1 – кнопка «тест» (контроль)

2.4. Принцип действия устройств защитного отключения

Функционально УЗО можно определить как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке.

Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор I (рис. 2.11), используемый в качестве датчика дифференциального тока.

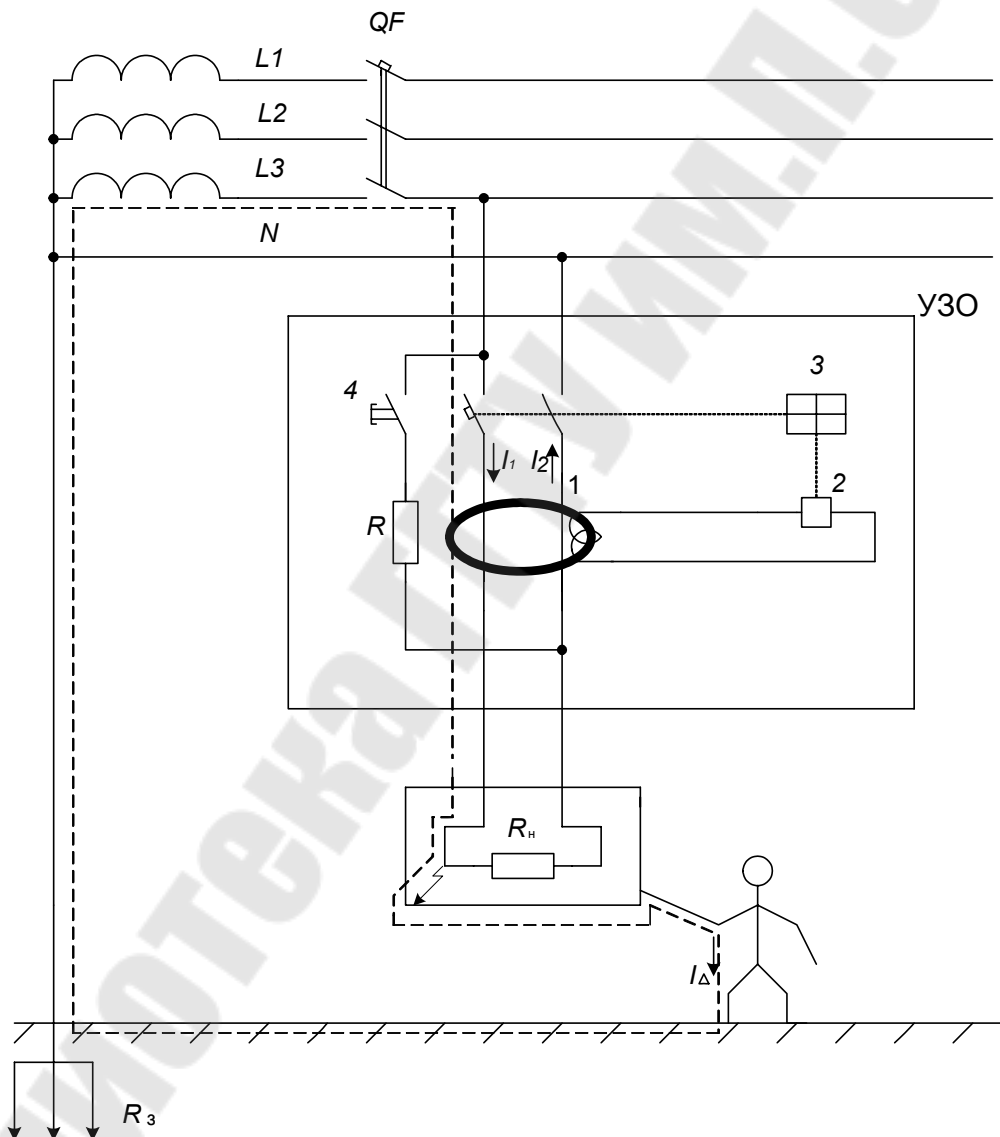


Рис. 2.11. Структурная схема УЗО:

- 1 – дифференциальный трансформатор; 2 – пусковой орган;
- 3 – исполнительный механизм; 4 – кнопка «тест» (контроль)

По-другому этот трансформатор называют трансформатором тока нулевой последовательности – ТТНП, но понятие «нулевая последовательность» применимо к трехфазным цепям и используется при расчетах несимметричных режимов многофазных цепей.

Пусковой орган (пороговый элемент) 2 выполняется, как правило, на чувствительных электромагнитных реле прямого действия или электронных элементах. Исполнительный механизм 3 включает в себя силовую контактную группу с механизмом привода.

В нормальном режиме, при отсутствии дифференциального тока – тока утечки, в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока I , протекает рабочий ток нагрузки. Эти проводники образуют встречновключенные первичные обмотки дифференциального трансформатора тока. Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке, как I_1 , а от нагрузки как I_2 , то можно записать равенство:

$$I_1 = I_2.$$

Равные токи во встречновключенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но векторно встречно-направленные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Результирующий магнитный поток равен нулю, ток во встречной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю. Пусковой орган 2 находится в этом случае в состоянии покоя.

При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, на который произошел пробой изоляции, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток – ток утечки I_Δ , являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным).

Неравенство токов в первичных обмотках ($I_1 + I_\Delta$ в фазном проводнике и I_2 , равный I_1 , в нулевом проводнике) вызывает неравенство магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока. Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента пускового органа 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3. Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО установка обесточивается.

Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования 4. При нажатии кнопки «ТЕСТ» искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно в целом исправно.

Согласно [4] нормируются следующие параметры УЗО:

1. Номинальное напряжение ($U_{\text{ном}}$) – действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО:

$$U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}, 380 \text{ В}.$$

2. Номинальный ток нагрузки ($I_{\text{нагр}}$) – значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы:

$$I_{\text{нагр}} = 6 \text{ А}; 10 \text{ А}; 16 \text{ А}; 25 \text{ А}; 40 \text{ А}; 63 \text{ А}; 80 \text{ А}; 100 \text{ А}; 125 \text{ А}.$$

3. Номинальный отключающий дифференциальный ток ($I_{\Delta \text{ ном}}$) – значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации:

$$I_{\Delta \text{ ном}} = 0,006 \text{ А (6 мА)}; 0,01 \text{ А (10 мА)}; 0,03 \text{ А (30 мА)}; 0,1 \text{ А (100 мА)}; \\ 0,3 \text{ А (300 мА)}; 0,5 \text{ А (500 мА)}.$$

4. Номинальный неотключающий дифференциальный ток ($I_{\Delta \text{ ном } 0}$) – значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации:

$$I_{\Delta \text{ ном } 0} = 0,5 \cdot I_{\Delta \text{ ном}}. \quad (2.1)$$

5. Предельное значение неотключающего сверхтока (I_m) (сверхток – любой ток, который превышает номинальный ток нагрузки) – минимальное значение неотключающего сверхтока при симметричной нагрузке двух- и четырехполюсных УЗО или несимметричной нагрузке четырехполюсных УЗО:

$$I_m = 6 \cdot I_{\text{ном}}. \quad (2.2)$$

2.5. Выбор значения номинального отключающего дифференциального тока

Первое условие, которое необходимо учитывать при проектировании дополнительной дифференциальной защиты от поражения электрическим током [3] – значение номинального неотключающего дифференциального тока $I_{\Delta\text{ном}0}$, т. е. такого дифференциального тока, при котором и ниже которого УЗО не срабатывает равно $0,5 \cdot I_{\Delta\text{ном}}$. Тогда зона уверенного срабатывания УЗО будет находиться в диапазоне от $0,5 \cdot I_{\Delta\text{ном}}$ до $1,0 \cdot I_{\Delta\text{ном}}$.

Второе условие связано с необходимостью отстройки отключающего дифференциального тока $I_{\Delta\text{ном}}$ от естественных (фоновых) токов утечки, величина которых не должна превышать $1/3 \cdot I_{\Delta\text{ном}}$, т. е. значение фоновое тока утечки не должно приближаться к порогу срабатывания УЗО – $0,5 \cdot I_{\Delta\text{ном}}$ [4].

Исходя из этих двух условий, можно вычислить предельное значение расчетного тока нагрузки, при котором для дополнительной защиты электрических сетей допустимо применять УЗО с $I_{\Delta\text{ном}} = 30 \text{ мА}$.

Пример. Групповая линия с током нагрузки 25 А.

Согласно второму условию фоновый ток утечки не должен превышать значение $1/3 \cdot I_{\Delta\text{ном}} = 1/3 \cdot 30 = 10 \text{ мА}$.

Расчетное значение фоновое тока утечки от тока нагрузки равно $0,4 \cdot 25 = 10 \text{ мА}$.

Следовательно, при токах нагрузки более 25 А фоновый ток утечки превысит значение 10 мА, что при уставке отключающего дифференциального тока 30 мА не допустимо.

Аналогично можно вычислить предельные значения расчетных токов нагрузки, при которых допустимо применять другие уставки отключающего дифференциального тока.

Чтобы соблюсти нормативные требования о дополнительной защите электрических сетей с уставкой дифференциального отключающего тока $I_{\Delta\text{ном}} = 10 \text{ мА}$, нагрузка не должна превышать 8,5 А; для 30 мА – 25 А; для 100 мА – 83 А; для 300 мА – 250 А.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 30331.2–95 (МЭК 364-3–93). Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики. – Минск : БелГИСС, 1995.
2. ГОСТ 30331.3–95 (МЭК 364-4-41–92). Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. – Минск : БелГИСС, 1995.
3. ГОСТ Р 50807–95. Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний. – Минск : БелГИСС, 1995.
4. Электроустановки жилых и общественных зданий : пособие П2-2000 к СНиП2.08.01–89. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1989.
5. Карякин, Р. Н. Заземляющие устройства электроустановок : справочник / Р. Н. Карякин. – Москва, 1998.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Системы заземления электроустановок	4
1.1. Термины и определения.....	4
1.2. Типы систем заземления.....	5
1.3. Нормативные рекомендации для электроустановок напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью (система <i>TN</i>)	10
1.4. Меры защиты от поражения электрическим током	11
1.5. Расчет заземляющих устройств	17
2. Защитные меры электробезопасности	20
2.1. Устройства защитного отключения.....	20
2.2. Назначение устройства защитного отключения.....	20
2.3. Применение устройств защитного отключения в электроустановках зданий.....	25
2.4. Принцип действия устройств защитного отключения.....	31
2.5. Выбор значения номинального отключающего дифференциального тока	34
Литература.....	35

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Елкин Валерий Дмитриевич
Широков Олег Геннадьевич**

СИСТЕМА ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

**Методические указания
к курсовому и дипломному проекту
для студентов специальностей
1-43 01 03 «Электроснабжение»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»**

Редактор

Н. В. Гладкова

Компьютерная верстка

Н. В. Широглазова

Подписано в печать 18.01.08.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,0.

Изд. № 162.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого».
ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.