Устройства защитного отключения управляемые дифференциальным током

Руководство по обучению

MOELLER

Think future. Switch to green

Ф. Штепан

УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ, УПРАВЛЯЕМЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ТОКОМ

Прага 2004

Ф. Штепан. Устройства защитного отключения, управляемые дифференциальным током. — Прага, 2004. — 90 с; с ил.

В книге рассмотрены требования по обеспечению электробезопасности в электроустановках зданий, свойства и принцип действия устройств защитного отключения, их использование для защиты в различных объектах. Приводятся сведения о проверке устройств защитного отключения, причинах ложных срабатываний, конструктивном исполнении и другие.

Книга предназначена для инженеров, техников и практиков, работающих в области проектирования, монтажа, наладки и эксплуатации электроустановок, а также может быть полезна для студентов высших и средних специальных учебных заведений.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Предисловие к изданию в Украине	5
	Термины	6
1.	Введение	9
2.	Краткая история использования УЗО	10
3.	Зарубежный опыт использования УЗО	11
4.	Воздействие электрического тока на организм человека	13
5.	Защита от поражения электрическим током	17
5.1.	Защита от прямого прикосновения	17
5.2.	Защита от косвенного прикосновения	18
5.2.1.	Защита в сетях системы TT	21
5.2.2.	Защита в сетях системы TN	22
5.2.3.	Защита в сетях системы IT	25
5.3.	Недостатки защиты от сверхтоков в части обеспечения электробезопасности	26
5.4.	Уровни защиты	26
6.	Принцип действия и требования к подключению УЗО	29
6.1.	Принцип действия УЗО	29
6.2.	Требования к подключению УЗО	31
7.	Типоисполнения УЗО	33
7.1.	Число полюсов	34
7.2.	Температура окружающей среды	34
7.3.	Частота	36
7.4.	Зависимость функционирования УЗО от напряжения питания	36
7.4.1.	УЗО, функционально независимые от напряжения питания (УЗО типа FI)	36
7.4.2.	УЗО, функционально зависимые от напряжения питания (УЗО типа DI)	36
7.4.3.	УЗО, функционально условно зависимые от напряжения питания (УЗО типа HFI)	38
7.5.	Чувствительность УЗО к различным видам дифференциального тока	39
7.6.	Время срабатывания УЗО	40
8.	Селективная работа УЗО	43
9.	Устойчивость УЗО к сверхтокам	45
9.1.	УЗО без встроенной максимальной токовой защиты	45
9.2.	УЗО со встроенной максимальной токовой защитой	46
10.	Использование УЗО	48

10.1. Использование УЗО в качестве дополнительной защиты 48
10.2. Использование УЗО в качестве защиты от косвенного прикосновения 49
10.3. Использование УЗО для обеспечения пожаробезопасности 50

11. Проверка и испытание защит, использующих УЗО, при ревизиях 52
11.1. Измерение отключающего дифференциального тока УЗО 54
11.2. Измерение времени отключения УЗО 55
11.3. Определение напряжения прикосновения 57
11.4. Измерение полного сопротивления цепи замыкания 58

12. Применение УЗО в существующих электропроводках 59
12.1. Замена УЗО, реагирующих на напряжение по отношению к земле, на УЗО, управляемые дифференциальным током 60

13. Нежелательные срабатывания УЗО 62
13.1. Нежелательные срабатывания, вызванные ошибкой в соединении 62
13.2. Нежелательные срабатывания УЗО, вызванные внешними воздействиями 64

14. Использование УЗО на различных объектах 69
14.1. Жилые здания и объекты гражданского назначения 69
14.2. Ванные и душевые помещения 70
14.3. Плавательные бассейны 70
14.4. Строительные площадки 70
14.5. Сельскохозяйственные объекты 71
14.6. Промышленные объекты 72
14.7. Мобильные помещения 72
14.8. Учреждения здравоохранения 74
14.9. Временные объекты 74

15. Заключение 74

Приложения 75

Каталог 80

ПРЕДИСЛОВИЕ К ИЗДАНИЮ НА УКРАИНЕ

Защита жизни и здоровья людей, а также их имущества, является задачей первостепенной важности во всех цивилизованных странах мира. Для решения этой задачи разработаны и продолжают разрабатываться различные меры обеспечения безопасности людей, в том числе и в области электро- и пожаробезопасности. Одним из эффективных способов повышения уровня электро- и пожаробезопасности является применение устройств защитного отключения, управляемых дифференциальным током. Эти устройства давно и успешно используются в мировой практике. На основании анализа статистических данных о несчастных случаях со смертельным исходом, связанных с воздействием электрического тока на организм человека, можно сделать вывод о высокой эффективности применения устройств защитного отключения. Только в европейских странах в жилых и общественных зданиях установлено около шестисот миллионов таких устройств.

В настоящее время в Украине, как и в других государствах, образовавшихся после распада СССР, проводится определенная работа по внедрению устройств защитного отключения, о чем свидетельствует введение в действие в 1998 году нормативного документа „Тимчасове положення «Про застосування пристроів захисного відключення (ПЗВ)»“. В связи с тем, что нормативная база Украины в области электробезопасности в значительной мере устарела и существенно уступает международным стандартам в части системности нормирования и жесткости требований, в недалеком будущем следует ожидать введения в действие новых государственных стандартов по электробезопасности, полностью согласованных с международными. Такая работа в значительной мере уже выполнена в Российской Федерации. После введения в действие новых государственных стандартов в области электробезопасности необходимы, по всей видимости, пересмотр и корректировка соответствующих разделов и глав Правил устройства электроустановок и других нормативных документов. Эти мероприятия, несомненно, будут являться дополнительным стимулом для широкомасштабного использования устройств защитного отключения.

Таким образом тема, касающаяся применения устройств защитного отключения, является для нас безусловно актуальной. Это обстоятельство, а также почти полное отсутствие научной и технической литературы по рассматриваемому вопросу, побудило группу энтузиастов к изданию на Украине книги “Устройства защитного отключения, управляемые дифференциальным током”, автор которой Франтишек Штепан является одним из ведущих специалистов известной фирмы Felten & Guilleaume (Австрия), которая, объединившись в 1998 году с фирмой „Клекнер-Меллер“, вошла в компанию MOELLER COMPANY GROUP.

Все права на данную книгу зарезервированы за фирмой Moeller Elektrotechnika, руководство которой любезно согласилось на издание книги на Украине.

ТЕРМИНЫ

Ниже приведены определения отдельных терминов, знание которых необходимо при чтении настоящей книги.

1. **Токоведущая часть** – электропроводящая часть электроустановки, находящаяся в процессе ее работы под рабочим напряжением.
2. **Открытая проводящая часть** – нетоковедущая часть, доступная прикосновению человека, которая может оказаться под напряжением при нарушении изоляции токоведущих частей.
3. **Сторонняя проводящая часть** – электропроводящая часть, не являющаяся частью электроустановки.
4. **Ток повреждения** – ток, появившийся в результате повреждения или перекрытия изоляции.
5. **Сверхток** – ток, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока электроустановки.
6. **Ток перегрузки** – сверхток в электрической цепи электроустановки при отсутствии электрических повреждений.
7. **Ток утечки** – ток, который протекает в землю или на сторонние проводящие части в электрически неповрежденной сети.
8. **Ток замыкания на землю** – ток, проходящий в землю через место замыкания.
9. **Напряжение прикосновения** – напряжение, появляющееся на теле человека при одновременном прикосновении к двум точкам проводников или электропроводящих частей, в том числе и при повреждении изоляции.
10. **Устройство защитного отключения (УЗО), управляемое дифференциальным током,** – коммутационный аппарат или совокупность элементов, которые в случае достижения (превышения) дифференциальным током заданного значения при определенных условиях эксплуатации должны вызвать размыкание контактов.
11. **Дифференциальный ток** – действующее значение векторной суммы токов, протекающих в первичной цепи УЗО.
12. **Номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО** – указанное изготовителем значение дифференциального тока, которое вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.
13. **Номинальный ток УЗО** – указанное изготовителем значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы.
14. **Защита от косвенного прикосновения** – защита, исключающая опасность соприкосновения с открытыми проводящими частями, сторонними проводящими частями, которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения.

15. **Защита от прямого (непосредственного) прикосновения** – технические мероприятия, электрозащитные средства и их совокупность, предотвращающие прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением, или приближение к ним на расстояние менее безопасного.

16. **Уравнивание потенциалов** – устранение разности электрических потенциалов между всеми одновременно доступными прикосновению, открытыми проводящими частями стационарного электрооборудования, и сторонними проводящими частями, включая металлические части строительных конструкций зданий, достигаемое соединением этих частей друг с другом при помощи проводников.

17. **Выравнивание электрических потенциалов** – снижение относительной разности электрических потенциалов между заземляющим устройством, открытыми проводящими частями и поверхностью земли (или другого электропроводящего основания) в нормальном и аварийном режимах работы, достигаемое соединением заземляющего устройства и открытых проводящих частей с уложенными в земле (на поверхности земли или на поверхности другого электропроводящего основания) электродами.

1. ВВЕДЕНИЕ

Устройства защитного отключения (УЗО) в значительной мере повышают уровень электробезопасности электроустановок, а также защищают имущество и здоровье людей в случаях возникновения пожаров, вызванных неисправностью электросети. Особенностями УЗО является высокая надежность, простота монтажа и небольшие размеры. Использование таких устройств позволяет достигнуть высокой степени защиты. При этом необходимо выполнить лишь несколько, в большинстве случаев легко реализуемых требований, которые рассмотрены в данной книге.

К неоспоримым достоинствам, которыми обладают эти устройства, также относятся [1]:

– высокая чувствительность устройства при косвенном прикосновении;
– обеспечение единственно возможной защиты при случайном прямом прикосновении;
– обеспечение отключения при возникновении опасного тока утечки (противопожарная защита);
– возможность простого контроля правильного функционирования устройства и для непрофессионалов (при помощи кнопки „ТЕСТ“).

Существенное повышение уровня безопасности при массовом использовании УЗО наглядно подтверждается опытом тех стран, в которых эти устройства применяются уже много лет (см. главу 3).

Примечание редактора.

1) Кроме перечисленных достоинств УЗО, следует обратить внимание на еще одну интересную особенность УЗО – способность не допустить некоторые виды хищения электроэнергии. В случае хищения электроэнергии, например, посредством использования земли в качестве обратного проводника или другим подобным способом, УЗО отключает цепь и предотвращает таким образом хищение. Известно, что в некоторых странах именно эта особенность УЗО по инициативе электроснабжающих компаний привела к широкомасштабному их использованию.

2. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЗО

Принцип действия защиты с применением суммирующего трансформатора известен относительно давно. Еще в 1928 году в Германии для сетей высокого напряжения был запатентован „защитный выключатель тока неисправности“ (Fehlerstromschutzschalter). Интересно, что запатентованное решение имело ввиду, в первую очередь, защиту людей при прямом прикосновении к токопроводящей части высоковольтной электроустановки. Несмотря на то, что существующее тогда представление об использовании УЗО было несколько упрощенным, принцип решения задачи, заключающийся в анализе векторной суммы токов в проводниках, является верным и актуальным до сих пор.

В начале 40-х годов в Берлине был представлен прототип УЗО с чувствительностью 80 мА. Война прервала разработки и только в 1950 году в Германии начали серийно производить и устанавливать УЗО с чувствительностью от 100 до 300 мА. Значение времени отключения этих устройств, по сравнению с необходимым было еще относительно велико (от 150 до 200 мс). Успешное решение проблемы повышения чувствительности и долговременной надежности сдерживалось отсутствием магнитных материалов с нужными характеристиками и недостаточной стабильностью этих характеристик во времени.

В процессе дальнейшего усовершенствования УЗО в 1958 году доктор Биглмайер из Австрии разработал новое решение конструкции УЗО со сбережением энергии и небольшим временем задержки срабатывания. В настоящее время УЗО такой конструкции имеют обозначение G. При этом было решено сразу несколько задач. Во-первых, были устранены нежелательные срабатывания УЗО при грозовых разрядах, что уже тогда являлось большой проблемой. Во-вторых, было достигнуто увеличение чувствительности до значения 30 мА и повышение эксплуатационной надежности. Аналогичное решение конструкции, но с большей выдержкой времени, чем у типа G, позволило создать селективный тип УЗО, имеющий обозначение S и широко используемый в настоящее время.

Постепенно УЗО с высокой чувствительностью получили распространение во всем мире. В 1977 году защита с помощью УЗО, используемая в виде дополнительной, решением Международной электротехнической комиссии была признана в качестве самостоятельной защиты (комплект стандартов МЭК 60 364). Эта защита сегодня широко используется. В настоящее время производится большое число типоисполнений УЗО, что позволило в значительной мере расширить область их использования.

Длительные исследования и опыт эксплуатации подтвердили необходимость достижения как можно более высокого уровня долговременной эксплуатационной надежности УЗО, что было также отмечено на заседании Международной электротехнической комиссии в 1992 году. Разработки, выполненные доктором Биглмайером, позволили в 1996 году выпустить на рынок новый тип УЗО (тип HF7), который обеспечивает надежное функционирование устройства без регулярного тестирования.

3. ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЗО

Как отмечалось во введении, широкомасштабное использование УЗО обеспечивает высокий уровень электробезопасности, который уже стал привычным во всех странах, где УЗО применяются много лет. Анализируя имеющиеся в некоторых странах Европы статистические данные о несчастных случаях со смертельным исходом, вызванных поражением людей электрическим током, можно получить четкое представление о повышении уровня электробезопасности при постоянном ужесточении требований к нему. Этому повышению в существенной мере способствовало массовое применение УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА. Конечно, значительное снижение несчастных случаев со смертельным исходом обусловлено применением и других защитных мероприятий.

На рис. 1 представлена диаграмма изменения числа несчастных случаев со смертельным исходом, вызванных поражением людей электрическим током с 1962 года по 1987 год в Швейцарии, а на рис. 2 – график, иллюстрирующий указанное изменение с 1950 года по 1988 год в Австрии.

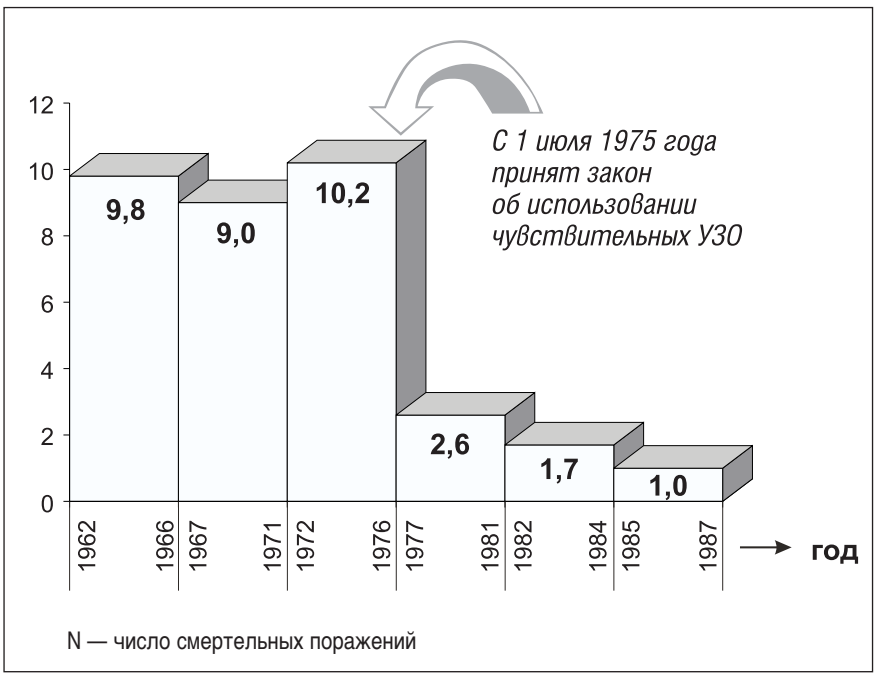


Рис. 1 Изменение числа смертельных поражений электрическим током в Швейцари

Как видно из рис. 1 и 2, внедрение УЗО привело к значительному уменьшению смертельных поражений электрическим током.

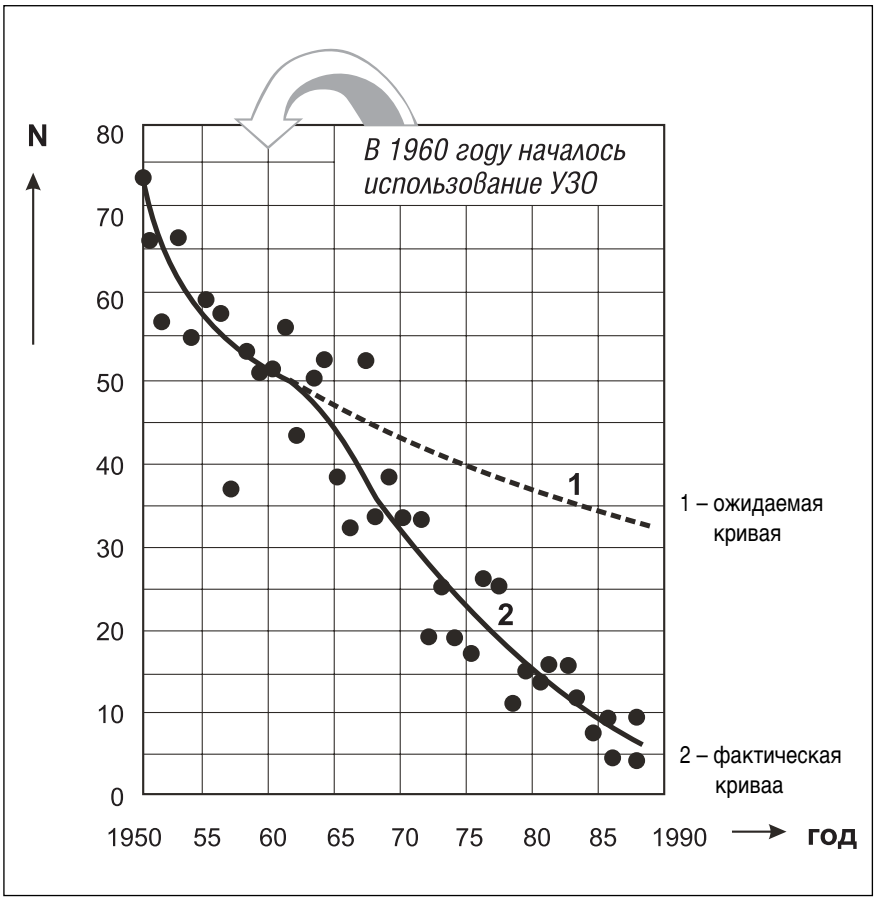


Рис. 2 Изменение числа смертельных поражений электрическим током в Австрии

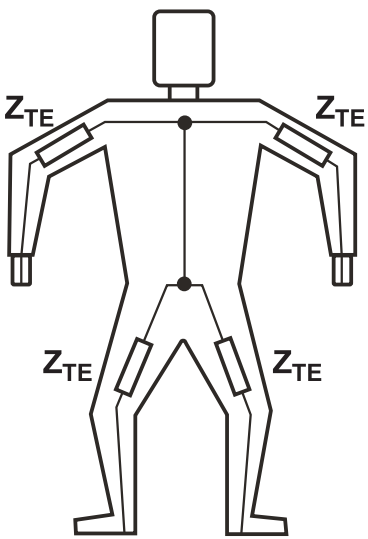
4. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

В случае прикосновения человека к части электрооборудования, находящегося под напряжением, по телу человека протекает электрический ток. Проблемы воздействия электрического тока на человека и домашних животных отражены в документе „Сообщение МЭК 479“ (Report IEC 479). На основании его выводов разработаны требования международного стандарта безопасности МЭК 60 364-4-41 (названия стандартов приведены в приложении (табл. П-5)).

Реакция организма на воздействие электрического тока и возможные последствия этого воздействия зависят от очень многих факторов, основными из которых являются: параметры электрической сети, условия окружающей среды (климатические и погодные), длительность воздействия тока, переходное сопротивление между телом человека и землей (обувь, пол), характеристика помещения и сопротивление тела человека.

На рис. 3 представлена электрическая схема замещения человеческого тела, а в табл. 1 – значения полного сопротивления тела при различных путях протекания тока, используемые для определения величины тока, протекающего через тело человека при его прикосновении к части оборудования, находящейся под напряжением.

В действительности сопротивление тела человека зависит не только от пути протекания тока, но и от его индивидуальных характеристик (пола, веса, переходного сопротивления кожи, состояния здоровья), размера поверхности прикосновения (плотный обхват или кратковременное прикосновение), величины напряжения прикосновения и т. д.



Z_{TE} – полное сопротивление части тела человека

Рис. 3 Электрическая схема замещения тела человека

Таблица 1. Полное сопротивление тела человека, Z_T

Путь протекания тока	Полное сопротивление тела, Ом
рука - рука или нога - нога	1000
рука - ноги	750
руки - ноги	500
рука - грудь	450
руки - грудь	230
рука - боковая часть туловища	550
руки - боковая часть туловища	300

На рис. 4 приведены кривые зависимости величины полного сопротивления тела человека ZT от напряжения прикосновения UT (путь: рука – рука или нога – нога), полученные экспериментально. Как видно из рис. 4, при напряжении прикосновения 230 В следует ожидать, что значение полного сопротивления тела у 5% людей не более 1000 Ом, у 50% – не более 1400 Ом и у 95% – не более 2200 Ом.

Диапазон токов по степени опасности их воздействия на организм человека может быть разделен на следующие интервалы:

I – токи величиной от 10 до 30 мА не приводят к смертельному исходу, но при продолжительном воздействии вызывают судороги, нарушение нормальной работы органов дыхания и т.п.;

II – токи величиной более 30 мА могут явиться причиной смерти, если не произойдет быстрое отключение источника питания. Воздействие токов, величины которых приближаются к значению 500 мА, может привести к смертельному исходу, если они протекают по телу в течение времени около 0,5 с и более;

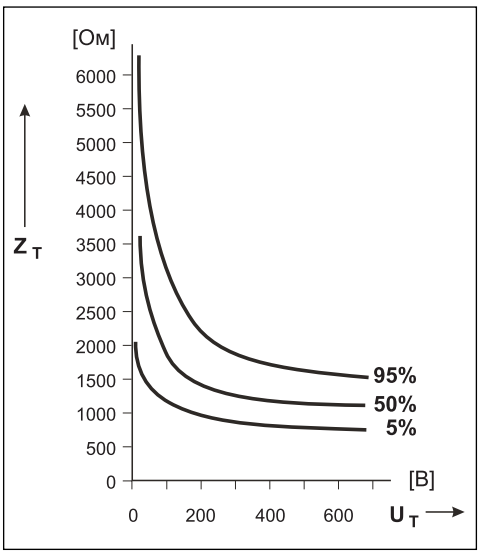


Рис. 4 Зависимость полного сопротивления тела человека от напражения прикосновения.

III – токи величиной свыше 500 мА являются смертельно опасными и при очень малом времени их протекания. Во всех случаях необходимо не допускать протекания таких токов по телу человека.

На рис. 5 представлены граничные кривые переменного тока промышленной частоты (Сообщение МЭК 479, глава 2, 3-е издание 1994 года), характеризующие воздействие электрического тока на человека в зависимости от продолжительности времени его протекания. Пояснения к рис. 5 приведены в табл. 2.

Главным фактором, обуславливающим отсутствие смертельного исхода при поражении человека электрическим током, является малое время протекания электрического тока. В специальной литературе приводится значение предельно допустимого произведения тока, протекающего по телу человека, и времени его протекания, равного 70 мА.с. При значениях сопротивления тела человека 2000 Ом и напряжения прикосновения 230 В величина тока, протекающего по телу, составит 230/2000 = 0,115 А. Время протекания тока в этом случае не должно превышать значения 0,6 с. В случае использования УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током $I_{\Delta n}$ = 30 мА значение времени отключения при касании человеком токоведущего проводника обычно находится в пределах от 10 до 30 мс, что гарантирует высокую степень безопасности.

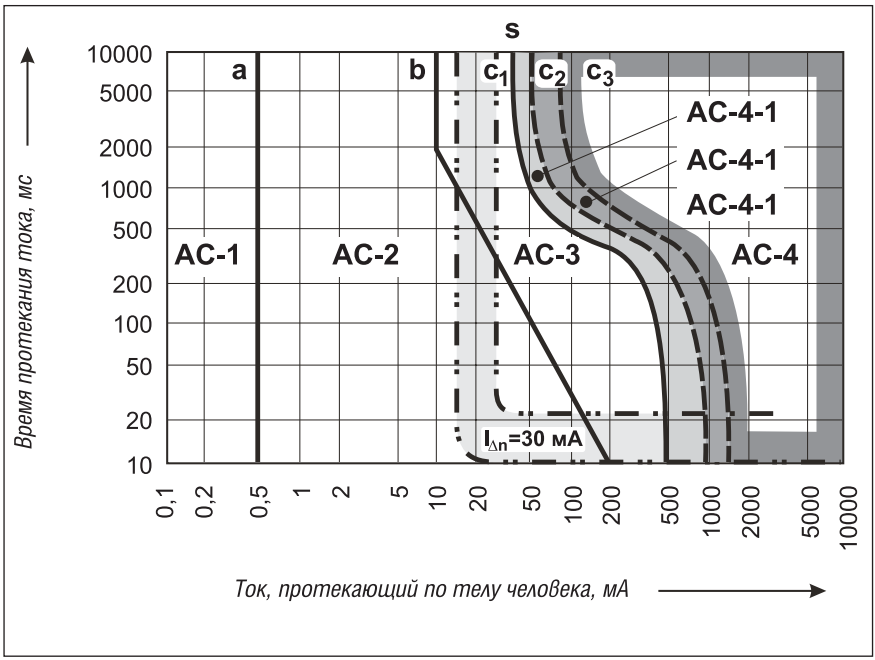


Рис. 5 Граничные кривые переменного тока

Таблица 2. Физиологическое воздействие электрического тока на человека в зависимости от интервала значений тока и времени его протекания по телу (см. рис. 5)

Обозначение интервала (АС-переменный ток)	Продельные значения тока в интервале	Физиологическое воздействие
1	2	3
АС-1	до 0,5 мА (прямаа *a*)	Обычно без ощутимого воздействия
АС-2	от 0,5 мА до ломаной линии *b*	Обычно без вредного физиологического воздействия
АС-3	от ломаной линии *b* до кривой *c1*	Обычно без органического повреждения. Возможна судорога мышц и проблемы с дыханием, если ток протекает дольше 2 с. Нарущение сердечной деятельности без фибрилляции сердечной мышцы наблюдается только при более продолжительном времени протекания и при более высоких значениях тока
АС-4	выше кривой *c1*	Увеличивается вероятность возникновения таких опасных патологических явлений, как остановка дыхания и тяжелые ожоги
АС-4-1	*c1 – c2*	Вероятность возникновения фибрилляции сердечной мышцы 5%
АС-4-2	*c2 – c3*	Вероятность возникновения фибрилляции сердечной мышцы приблизительно 50%
АС-4-3	выше кривой *c3*	Вероятность возникновения фибрилляции сердечной мышцы выше 50%

Замечание.

Использование УЗО с $I_{\Delta n}$ = 10 мА в большинстве случаев не приносит заметного повышения уровня безопасности по сравнению с применением УЗО с $I_{\Delta n}$ = 30 мА. В то же время при использоании УЗО с $I_{\Delta n}$ = 10 мА возникает ряд проблем, связанных с ложными отключениями УЗО, из-за имеющихся в сети небольших естественных токов утечки (например, при наличии незначительной влажности). Если в каких-либо требованиях речь идет о номинальном отключающем дифференциальном токе УЗО, равном 10 мА, то в большинстве случаев в основе этих требований лежат статьи немецких стандартов.

5. ЗАЩИТА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ [1)]

Стандарт МЭК 60 364-4-41 устанавливает требования по обеспечению защиты от поражения электрическим током при эксплуатации зданий. Эта защита осуществляется применением мер, которые должны:

а) предотвратить возможность протекания тока через тело человека (изоляция токоведущих частей, уравнивание потенциалов и другие);

б) ограничить величину тока, протекающего через тело человека, до безопасного значения (например, путем использования SELV system, PELV system [2)]);

в) быстро отключить неисправное электрооборудование от источника питания (предохранители, автоматические выключатели, УЗО).

5.1. Защита от прямого прикосновения [3)]

Для осуществления рассматриваемой защиты в соответствии с 412-м разделом МЭК 60 364-4-41 предусматриваются следующие меры безопасности:

– защита посредством изоляции токоведущих частей;
– защита с помощью ограждений и оболочек;
– защита с помощью барьеров;
– размещение вне зоны досягаемости;
– дополнительная защита посредством УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током срабатывания $I_{\Delta n} \leq 30$ мА.

Указание в упомянутом выше стандарте об использовании УЗО в качестве дополнительной защиты существенно изменило подход к повышению уровня электробезопасности в ряде специальных электроустановок.

Примечания редактора.

1) В данной главе и далее рассматриваются защитные меры, которые предусмотрены в стандартах, принятых Международной электротехнической комиссией (МЭК). В ряде стран, в том числе и на Украине, в настоящее время используются собственные нормативные документы, которые существенно отличаются от стандартов МЭК. Как было отмечено в предисловии, следует ожидать, что в ближайшем будущем на Украине стандарты МЭК будут приняты в качестве государственных.

2) SELV system (англ.) – система безопасного сверхнизкого напряжения (в ряде литературных источников и нормативных документов – малое напряжение); PELV system (англ.) – термин, используемый в случае заземленной цепи системы безопасного сверхнизкого напряжения. Наибольшее значение номинального напряжения системы безопасного сверхнизкого напряжения переменного тока указано в главе 5.2.

В новых отечественных стандартах вместо термина „SELV system“ используется русский эквивалент „система БСНН“ (система безопасного сверхнизкого напряжения), а вместо термина „PELV system“ – „система ЗСНН“ (система заземленного безопасного сверхнизкого напряжения).

3) Кроме перечисленных ниже защитных мер, общей мерой для защиты от прямого и косвенного прикосновений являются защиты посредством использования систем БСНН или ЗСНН с соблюдением требований их выполнения, регламентируемых стандартом МЭК 60 364-4-41, и защита посредством использования системы функционального сверхнизкого напряжения (FELV system – система ФСНН), требования к выполнению которой также регламентированы в указанном стандарте.

5.2. Защита от косвенного прикосновения [1)]

В соответствии с 413-м разделом МЭК 60 364-4-41 мерами для обеспечения защиты от косвенного прикосновения являются:

– автоматическое отключение питания за определенное время;
– применение электрооборудования класса II [2)] или с равноценной изоляцией;
– применение изолирующих (непроводящих) помещений, зон, площадок;
– использование незаземленной системы местного уравнивания потенциалов [3)];
– электрическое разделение цепей (с помощью разделяющего трансформатора или источника питания, равноценного ему по степени обеспечения электробезопасности).

Защита посредством автоматического отключения питания в установленное время может быть использована в системах заземления типов TN, TT и IT (примеры выполнения этих систем заземления в сетях трехфазного переменного тока представлены на рис. 6).

Для эффективного функционирования автоматического отключения питания должны быть выполнены следующие мероприятия:

– заземлены открытые проводящие части посредством защитного проводника;
– реализована основная система уравнивания потенциалов – соединение основного (магистрального) защитного проводника с металлическими частями конструкций здания, трубами и основным заземляющим зажимом (см. рис. 7).

Целью выполнения заземления является поддержание открытых проводящих частей электроустановки на потенциале, по возможности, близком к потенциалу земли. Правильно выполненное заземление должно:

– обеспечить нормальное функционирование оборудования;
– ограничить воздействие перенапряжений и сверхтоков;
– защитить от поражения электрическим током.

Величина сопротивления заземляющего устройства зависит от цели его использования и определяется различными стандартами. Требования к заземляющим устройствам и защитным проводникам приведены в стандарте МЭК 60 364-5-54.

Автоматическое отключение источника питания обеспечивается устройствами, которые должны осуществить отключение в случае, если на открытых проводящих частях возможно появление напряжения прикосновения, превышающее допустимое значение U_L, принятое согласно стандарту МЭК 60364-4-41 равным 50 В [4)]. В ряде специальных установок в соответствии с действующими стандартами нормируются меньшие значения U_L.

Примечания редактора.

1) См. примечание 3) к главе 5.1.

2) Согласно действующему ГОСТ 12.2.007.0-75 „Изделия электротехнические. Общие требования электробезопасности" к оборудованию класса II относят изделия, имеющие двойную или усиленную изоляцию и не имеющие элементов для заземления.

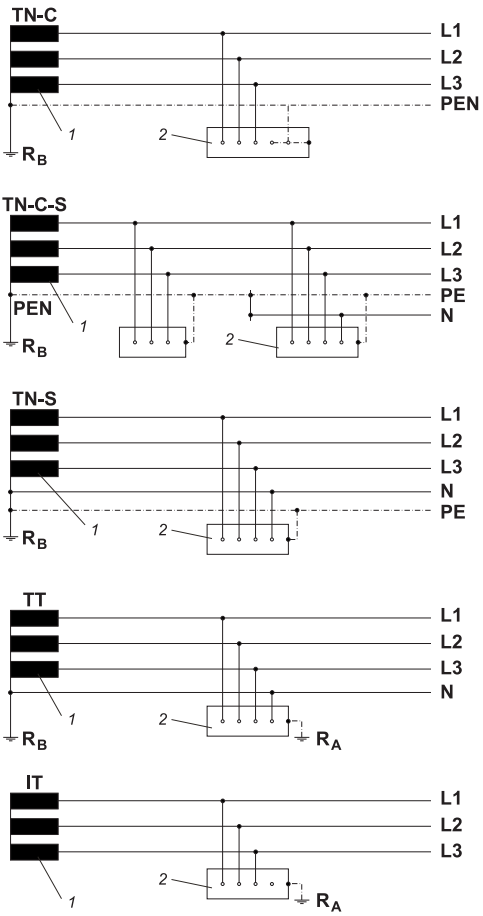
К классу I согласно ГОСТ 12.2.007.0-75 относится оборудование, имеющее по крайней мере рабочую изоляцию и элемент для заземления. В случае, если изделие класса I имеет провод для присоединения к источнику питания, то этот провод должен иметь заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом.

3) Незаземленная система местного уравнивания потенциалов предусматривает объединение всех открытых проводящих частей и сторонних проводящих частей, одновременно доступных для прикосновения. При этом система не должна иметь связи с землей.

Считается, что в этих установках, из-за неблагоприятных с точки зрения электробезопасности условий, значение полного сопротивления тела человека обычно понижено.

Примечания редактора.

4) В соответствии с отечественной нормативной базой (ГОСТ 12.2.007.0-75) безопасное сверхнизкое напряжение – напряжение, которое не превышает 42 В между отдельными проводниками или между проводниками и землей, а без нагрузки это напряжение не превышает 50 В. При наличии особо неблагоприятных условий, когда опасность поражения электрическим током усугубляется теснотой, неудобным положением работающего, соприкосновением с большими металлическими хорошо заземленными поверхностями для питания ручных светильников безопасным считается напряжение не выше 12 В.



R_A – сопротивление заземляющего устройства открытой проводящей части;

R_B – сопротивление заземляющего устройства источника питания;

1 – источник питания;

2 – открытая проводящая часть.

Буквенное обозначение типов систем заземления:

Первая буква - характер заземления источника питания:

T – непосредственное присоединение одной точки токоведущей части к земле;

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

Вторая буква - характер заземления открытых проводящих частей электроустановки:

T – непосредственная связь открытых проводящих частей с землей;

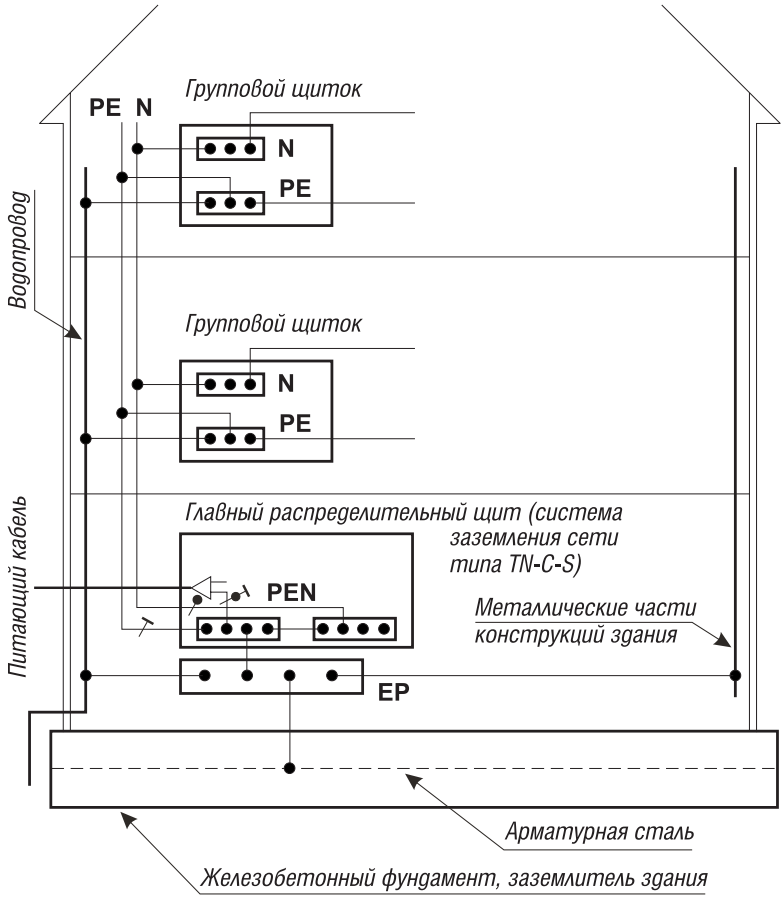
N – непосредственная связь открытых проводящих частей с точкой заземления источников питания (в системах переменного тока обычно заземляется нейтраль).

Третья буква - устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

C – функции нулевого рабочего (N) и нулевого защитного проводников (PE) объединены в одном проводнике (PEN);

S – функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников обеспечиваются раздельными проводниками (соответственно N и PE).

Рис. 6 Примеры выполнения систем заземления TN, TT и IT переменного тока



Основнаа система управлениа потенциалов обединает:

- основной (магистральный) защитный проводник;
- основной заземляющий зажим (EP);
- систему труб в здании и между зданиями (газ, вода);
- металлические части конструкций здания, системы центрального отопления, вентиляции, кондиционирования.

– нулевой рабочий проводник (N);

– нулевой защитный проводник (PE);

– совмещенный нулевой рабочий проводник и нулевой защитный проводник (PEN).

Рис. 7 Пример выполения уровнивания потенциалов в здании (фазные проводники с целью упрощения рисунка не показаны).

Наибольшее время, в течение которого должно произойти автоматическое отключение источника, нормировано. Например, в сетях системы TN для цепей, питающих передвижное или переносное оборудование класса I посредством штепсельных розеток или без них, при номинальном напряжении между фазой и землей, равном 230 В, время отключения не должно превышать 0,4 с. Для цепей, питающих стационарное электрооборудование, максимально допустимое время отключения составляет 5 с.1) Максимально допустимые значения времени отключения определены, исходя из знаний о воздействии электрического тока на организм человека (рис. 5).

Если требуемые значения времени отключения источника питания посредством защиты от сверхтока не могут быть получены обычными способами (выбором устройства защиты, увеличением сечений проводников для получения нужного значения полного сопротивления цепи замыкания), необходимо применение дополнительной системы уравнивания потенциалов или использование УЗО.

Среди устройств, обеспечивающих автоматическое отключение источника питания, УЗО занимает особое место. Как и другие устройства автоматического отключения, УЗО способно защитить человека при прикосновении к открытым проводящим частям в случае нарушения изоляции токоведущих частей. Однако, УЗО является единственным устройством, способным защитить человека от прямого случайного прикосновения к токоведущей части.

УЗО могут быть использованы в электрических сетях с системами заземления типов TN-C-S, TN-S, TT и IT (рис. 6).

Замечание.

Использование УЗО в цепях без защитного проводника (например, в старых двухпроводных сетях с проводами L и N) согласно новым требованиям не должно считаться достаточной мерой для обеспечения безопасности при прикосновении к открытым проводящим частям даже в том случае, когда номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО не превышает 30 мА. Это следует из требования для защиты от косвенного прикосновения к открытым проводящим частям посредством автоматического отключения питания, которое предписывает присоединение всех открытых проводящих частей к защитному проводнику в соответствии с особенностями типов системы заземления.

5.2.1. Защита в сетях системы TT [2)]

В сетях системы TT [3)] все открытые проводящие части, защищенные одним защитным устройством, присоединяются защитным проводником к одному заземляющему устройству.

Земля при этом служит в качестве обратного проводника для тока повреждения. Нейтральная точка или, если таковой не существует, фаза питающего генератора или

Примечания редактора.

1) Указанное время допускается в случае выполнения определенных условий (приведены в стандарте МЭК 60 364-4-41), зависящих от типа системы заземления.

2) В данной главе рассмотрена только защита от косвенного прикосновения посредством отключения питания. Другие меры защиты (применение оборудования класса II, электрическое разделение цепей и т. п.) – см. стандарт МЭК 60 364-4-41.

3) Сети системы TT напряжением до 1 кВ в отечественных электроустановках практически не используются. В соответствии с действующими „Правилами устройства электроустановок", применение в электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью заземления корпусов электроприемников без их зануления не допускается.

трансформатора должны быть заземлены. Существенную роль в обеспечении защиты играет суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника RA, значение которого должно подчиняться следующему условию:

$$R_A \leq U_L / I_a , \qquad [1]$$

где:

I_a ...величина тока отключения защитного устройства от сверхтока (предохранителя или автоматического выключателя)[1].

В случае использования УЗО, заменив параметр I_a в формуле [1] на $I_{\Delta n}$ (номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО), получаем следующее условие:

$$R_A = U_L / I_{\Delta v}. \qquad [2]$$

Использование УЗО позволяет увеличить максимальные значения сопротивления R_A (табл. 3) на несколько порядков по сравнению с его допустимыми значениями при применении защиты от сверхтоков.

Таблица 3. Максимально допустимые значения сопротивления R_A в сети TT при различных значениях номинального отключающего дифференциального тока УЗО

Номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО $I_{\Delta n}$ [A]		**0,01**	**0,03**	**0,1**	**0,3**	**0,5**
Максимальное значение сопротивления R_A [Ом]	при U_L = 50 В	5 000	1 666	500	166	100
	при U_L = 25 В	2 500	833	250	83	50

5.2.2. Защита в сетях системы TN [2]

Сети системы TN являются самыми распространенными сетями в большинстве стран Европы. В сетях системы TN все открытые проводящие части электроустановок должны быть присоединены к заземленной нейтральной точке источника питания посредством защитных проводников. Если нейтральной точки нет, или она недоступна, должен быть заземлен фазный проводник.

Примечание редактора.

1) Под величиной Ia в данном случае подразумевается значение тока, обеспечивающее срабатывание защитного устройства с обратно зависимой токо-временной характеристикой за время, не превышающее 5 с. Если защитное устройство является токовой отсечкой, то Ia – уставка по току отсечки.

2) См. примечание 1) к главе 5.2.1.

Основное условие электробезопасности в сети системы TN состоит в том, чтобы значение тока при коротком замыкании между фазным проводником и открытой проводящей частью превышало величину тока срабатывания защитного устройства Ia за нормированное время1). Это условие может быть записано в виде:

$$Z_S \leq U_0 / I_a , \qquad [3]$$

где:

Z_S …полное сопротивление цепи “фаза–нуль”;

U_0 …номинальное напряжение между фазой и землей.

В случае использования в качестве защитного устройства УЗО величину I_a следует заменить на значение номинального отключающего дифференциального тока устройства $I_{\Delta n}$. При U_o = 230 В и $I_{\Delta n}$ = 300 мА максимально допустимое значение ZS составляет 766 Ом. Из приведенного примера ясно, что в случае использования УЗО задача обеспечения достаточно низкого значения сопротивления цепи „фаза–нуль“, которую надо решать при использовании защиты от сверхтока, должна быть заменена на проверку нормального функционирования УЗО и защитного проводника. Контроль полного сопротивления цепи „фаза–нуль“ следует производить только на входных зажимах УЗО.

Необходимым условием нормальной работы сети системы TN является выполнение требования к максимальным значениям сопротивлений заземляющих устройств, к которым присоединяются нейтрали источников питания 2).

До сих пор самой используемой разновидностью сети системы TN является сеть системы TN-C. В качестве защитного проводника при этом используется проводник PEN, который одновременно выполняет функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников. Эти сети будут часто применяться и в будущем, особенно в стационарных электроустановках при использовании проводников больших сечений.

Более современной и в большинстве случаев более безопасной является сеть системы TN-S, где используется самостоятельный нулевой защитный проводник PE и нулевой

Примечания редактора.

1) а. Значения допустимого времени отключения в зависимости от фазного напряжения сети приведены в таблице стандарта МЭК 60 364-4-41. При выполнении определенных условий, также данных в этом стандарте, время отключения для цепей со стационарным оборудованием может превышать указанное в таблице, но не должно быть более 5 с.

б. Кроме рассмотренного условия, для того чтобы в случае замыкания фазного проводника на землю потенциал защитного проводника и связанных с ним открытых проводящих частей не превышал значения UL, должно выполняться следующее соотношение:

$R_B / R_E = U_L /(U_0 – U_L)$,

где:

RB …суммарное сопротивление всех заземлителей, соединенных параллельно;

RE …минимальное значение сопротивления заземлителя сторонних проводящих частей, не присоединенных к защитному проводнику и оказавшихся в цепи замыкания на землю.

2) В отечественных электроустановках трехфазного тока напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью в соответствии с „Правилами устройства электроустановок“ сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генераторов или трансформаторов, в любое время года должно быть не более 2,4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях сети 660, 380 и 220 В.

рабочий проводник N, которые прокладываются раздельно, начиная от вывода источника питания. Такие сети чаще всего применяются в зданиях с собственными трансформаторами.

Разделение проводника PEN в сети системы TN на отдельные проводники PE и N обязательно при его сечении менее 10 мм2 по меди или 16 мм2 по алюминию 1). Вариант выполнения сети с разделением проводника PEN (рис. 8), например, в групповом щитке, как уже было сказано, называется сетью системы TN-C-S 2). При этом, как и в сети системы TN-S, проводники PE и N должны прокладываться раздельно, а их соединение после точки раздела недопустимо (стандарт МЭК 60 364-4-41). Анализ проблем, которые возникают в случае нарушения этого требования, изложен в главе 13.

Замечания.

1. Одной из отрицательных особенностей сети типа TN-C является протекание части рабочего тока в земле, что создает помехи в слаботочных сетях. По этой причине в телекоммуникационных сетях уже долгое время используется система TN-S.

2. В большинстве случаев значение полного сопротивления цепи „фаза – нуль" удовлетворяет условию быстрого отключения аварийного тока предохранителем или автоматическим выключателем. Главной причиной использования УЗО селективного типа в начальной точке сети является защита от пожара, которая во многих странах требуется в обязательном порядке.

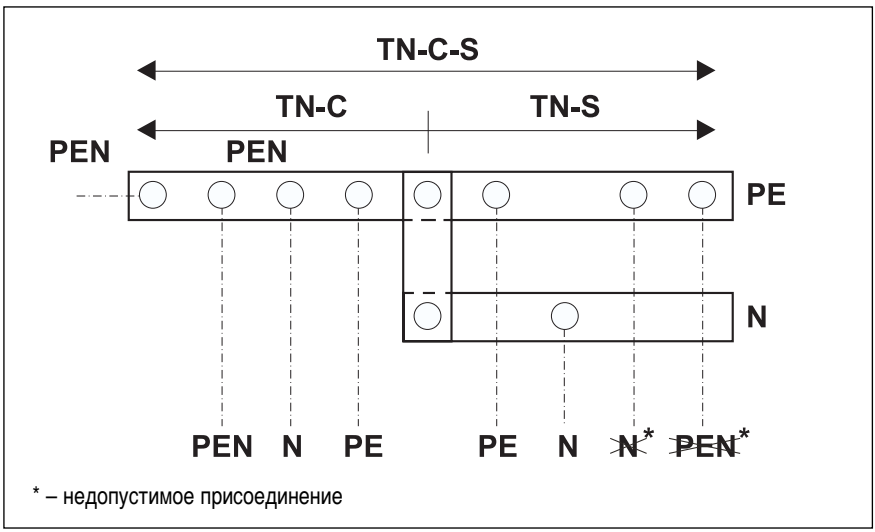


Рис. 8 Разделение проводника PEN в сети системы TN-C-S

Примечания редактора.

1) Имеется в виду требование стандарта МЭК 60 364-4-41.

2) Сети системы TN-C-S нашли у нас широкое применение после введения в действие в 1994 г. изменений в „Правила устройств электроустановок", в соответствии с которыми в помещениях жилых и общественных зданий должны присоединяться к защитным проводникам металлические корпуса электроприемников, относящихся к приборам класса 1, а розеточные сети должны выполняться трехпроводными.

5.2.3. Защита в сетях системы IT [1)]

В сетях системы IT 2) источник питания должен быть изолирован от земли или связан с ней посредством подключения к нейтрали достаточно большого сопротивления. Ни один токоведущий проводник системы IT не должен быть напрямую соединен с землей.

В сети имеется определенное активное сопротивление и емкость по отношению к земле, которые представляют собой путь для тока утечки или тока замыкания на землю. Для того, чтобы избежать появления опасного напряжения на открытых проводящих частях в результате повреждения или перекрытия изоляции, эти части заземляются. Наибольшая величина сопротивления заземляющего устройства определяется значением тока замыкания фазы на открытые проводящие части при первом замыкании I_d [3)]. В качестве обратного проводника для тока повреждения при этом служит земля. Величина тока I_d всегда отлична от нуля и зависит от напряжения, частоты тока (для обычных сетей 50 Гц), протяженности сети и типа линий электропередачи (кабельные, воздушные).

При дальнейшем развитии аварийной ситуации, то есть возникновении второго замыкания (двойное замыкание), величина тока повреждения ограничена только полным сопротивлением цепи замыкания. В связи с тем, что в качестве расчетного выбирается наиболее неблагоприятный случай (возникновение двойного замыкания в конце линии), в расчетные формулы вводится удвоенное значение I_a [4)]. Условия для правильного функционирования защиты в сетях системы IT при двойном замыкании рассмотрены в стандарте МЭК 60 364-4-41.

В случае индивидуального или группового заземления открытых проводящих частей, когда не все открытые токоведущие части соединены с одним заземляющим устройством, должно быть выполнено условие [1] главы 5.2.1.

Проблема использования чувствительного УЗО в сети системы IT имеет достаточно простое решение – в случае применения УЗО его следует установить как можно ближе к концу сети. Известно, что в сетях системы IT более предпочтительным является использование устройств контроля изоляции. Одновременное функционирование устройств контроля изоляции и УЗО не оказывает влияния на работу каждого из этих устройств.

Примечания редактора.

1) См. примечание 1) л главе 5.2.1.

2) Сети системы IT в отечественной практике используются в специальных электроустановках с повышенными требованиями к безопасности, например, в шахтах.

3) Наибольшая величина сопротивления заземляющего устройства для открытых проводящих частей определяется по формуле (1), где вместо величины Ia следует подставить значение величины Id.

4) Здесь имеется в виду случай, когда связь с землей всех открытых проводящих частей осуществляется посредством соединения с защитным проводником. При этом определяется полное сопротивление цепи замыкания, как для сети системы TN, используя расчетные выражения из стандарта МЭК 60 364-4-41.

5.3. Недостатки защиты от сверхтоков в части обеспечения электробезопасности

Защита от сверхтоков, используемая в сетях системы TT, TN и IT, в части обеспечения электробезопасности имеет ряд технических недостатков. Некоторые из них приведены ниже:

а) в ряде случаев приходится ограничивать мощность потребления электроприемников для того, чтобы обеспечить нужное сопротивление заземляющего устройства RA или полного сопротивления цепи замыкания ZS;

б) если значения Z_S или R_A в месте повреждения недостаточно малы, то на открытых проводящих частях может появиться опасное напряжение прикосновения. При небольшом значении тока повреждения время отключения велико. В течение этого времени на открытой проводящей части присутствует опасное напряжение прикосновения, а защитный проводник осуществляет вынос потенциала на другие открытые проводящие части;

в) в сетях системы TN-C на открытых проводящих частях появляется фазное напряжение в случаях:
   – замены проводника PEN на фазный;
   – обрыва проводника PEN;

г) при замене аппарата защиты на аппарат с большим номинальным током, выполненной неквалифицированным персоналом, время отключения поврежденного участка может превышать допустимое, либо отключение может вообще не произойти;

д) защита от непосредственного прикосновения к токоведущим частям не обеспечивается.

Выполнение требований, обеспечивающих электробезопасность в сети системы TT, посредством предохранителей или автоматических выключателей практически нереализуемо. Поэтому в таких сетях должны использоваться УЗО. В сетях систем TN и IT с введением в действие стандарта МЭК 60 364-4-41 ужесточаются требования к времени отключения защитными аппаратами поврежденного участка сети. Для случаев, когда реализация увеличения сечений проводников затруднена, стандарт четко определяет альтернативные решения:
– использование дополнительного уравнивания потенциалов, при выполнении которого допустимое время отключения увеличивается;
– использование УЗО [1)].

5.4. Уровни защиты

Для обеспечения электробезопасности в сложных условиях (ванные и душевые помещения, строительные площадки, сельское хозяйство и т. д.) кроме защиты от сверхтоков, обычно предлагаются еще три варианта защиты:
– электрическое разделение цепей;
– система безопасного сверхнизкого напряжения;
– дополнительная защита открытых проводящих частей с помощью УЗО с $I_{\Delta n}$ = 30 мА.

Примечание редактора.

1) В соответствии со стандартом МЭК 60 364-4-41 в сетях системы TN-C УЗО, управляемые дифференциальным током, применяться не должны.

По практическим соображениям (в случаях, когда это позволяют требования электробезопасности), как правило, выбирают наименее сложную в реализации меру – чувствительное УЗО. Важно подчеркнуть, что потребляемая при этом мощность электроприемников ограничивается лишь выбранным значением номинального тока УЗО.

Международные нормы определяют основную защиту (по-английски basic protection) как защиту токоведущих частей. Отказ основной защиты может произойти при повреждении оболочки, изоляции или в случае наличия возможности прикосновения к токоведущим частям, например, из-за отсутствия закрывающей панели, изоляционной перегородки и т. д. Для обеспечения электробезопасности в случае отказа основной защиты используется защита при повреждении (по-английски fault protection). Если при этом используется защитный проводник, то речь идет о защите открытых проводящих частей, которые в нормальном режиме не находятся под напряжением. Если защитный проводник для обеспечения защиты не используется, то применяется оборудование класса II или с равноценной изоляцией, система безопасного сверхнизкого напряжения, либо электрическое разделение цепей. Но опыт показал, что и защита при повреждении может отказать. Поэтому для снижения риска электропоражения должна применяться дополнительная защита (по-английски additional protection). При этом может использоваться дополнительная система уравнивания потенциалов, оборудование с усиленной изоляцией либо УЗО с $I_{\Delta n}$ = 30 мА.

На рис. 9 в качестве примера представлена схема трехуровневой защиты цепи с использованием чувствительного УЗО.

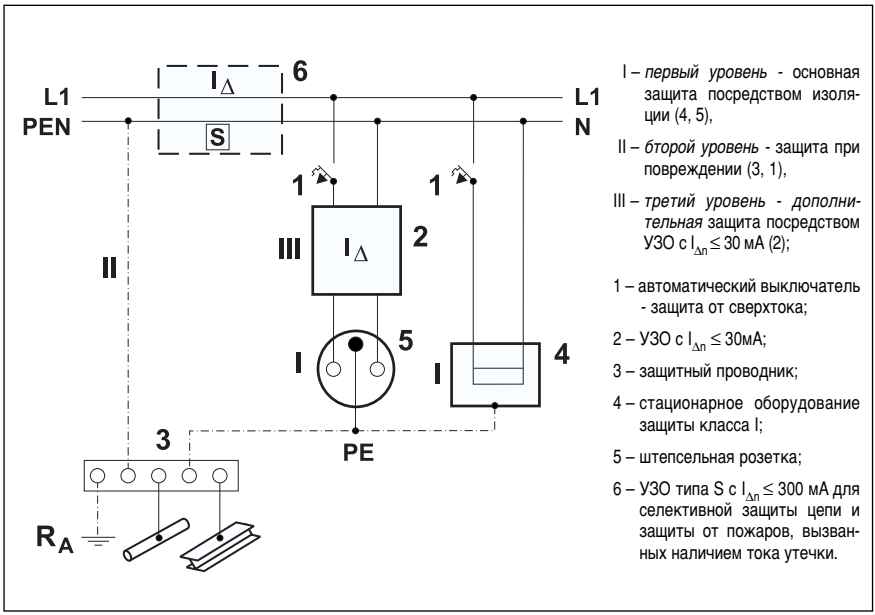


Рис. 9 Схема трехуровневой защиты цепи

Важной особенностью чувствительного УЗО является способность надежно защитить от электропоражения со смертельным исходом при отказе других защитных мер. Поэтому очень хорошей комбинацией, с точки зрения обеспечения высокого уровня электробезопасности, является применение электрической цепи с оборудованием класса II, защищенной чувствительным УЗО. Такое решение обеспечивает защиту при помощи двойной или равноценной ей изоляции, а так же защиту при повреждении гибкого проводника к оборудованию и электропроводки в целом.

6. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К ПОДКЛЮЧЕНИЮ УЗО

Требования к УЗО подробно рассмотрены в соответствующих международных стандартах МЭК 755, МЭК 61008, МЭК 61009 и других нормативных документах.

6.1. Принцип действия УЗО [1)]

УЗО состоит из суммирующего трансформатора тока, чувствительного отключающего реле, механизма отключения с контактной системой и цепи контроля (рис. 10). Через окно трансформатора тока пропускаются все рабочие проводники (L1, L2, L3, N). Если за местом установки УЗО будет протекать ток в землю или в защитный проводник PE, например, в случае замыкания на корпус или случайного прикосновения человека к токоведущей части, векторная сумма токов в рабочих проводниках, пропущенных через трансформатор тока, будет иметь значение отличное от нуля, то есть появится дифференциальный ток. Наличие дифференциального тока обуславливает появление электродвижущей силы во вторичной обмотке трансформатора тока, которая посредством отключающего реле приводит в действие механизм отключения. Таким образом, происходит быстрое отключение поврежденной части сети. В соответствии с первым законом Кирхгофа нормальная работа УЗО обеспечивается и при несимметричной нагрузке. То же самое имеет место при неполном числе рабочих проводников (трехфазные электроприемники без проводника N).

Работа отключающего реле с постоянным магнитом (рис. 11) основана на принципе суперпозиции (наложения) двух магнитных полей: магнитного поля постоянного магнита и переменного магнитного поля, создаваемого управляющей обмоткой (катушкой возбуждения). При включенных контактах УЗО якорь реле притянут к ярму катушки вследствие действия магнитного поля постоянного магнита. Противодействующая сила растянутой пружины направлена на оттягивание якоря. После появления на управляющей обмотке из-за наличия дифференциального тока, электродвижущей силы происходит наложение постоянного и переменного магнитного полей. В определенный момент отрицательного полупериода переменного тока в управляющей катушке при превышении величины дифференциального тока заранее установленного значения, результирующая энергия магнитного поля окажется меньше потенциальной энергии пружины, что вызывает мгновенное отпадение якоря, воздействующего на механизм свободного расцепления, и размыкание контактов. Повторное включение производится вручную при помощи ручки управления. Потребляемая мощность УЗО при его срабатывании составляет около 10^{-4} Вт,

Примечание редактора.

1) В данной главе описан принцип работы УЗО, функционально-независимых от напряжения питания. Отличия в конструкции функционально-зависимых, а так же условно зависимых от напряжения питания УЗО рассмотрены в главе 7.

что во много раз меньше, чем можно было бы достичь, используя обычную конструкцию реле с втягиванием якоря в катушку. Конструкция отключающего реле позволяет получить значения потребляемой мощности около 50 мкВт. Однако при таком чувствительном исполнении не достигается достаточная долговременная эксплуатационная надежность.

Из принципа действия УЗО следует, что в случае короткого замыкания между рабочими проводниками (без земли) УЗО не срабатывает. Не произойдет отключение и в случае возникновения тока перегрузки. Таким образом, УЗО не способно квалифицировать наличие перегрузки или короткого замыкания, при котором ток повреждения не протекает по земле или защитному проводнику, как аварийное состояние сети.

В связи с тем, что УЗО не защищает цепь от сверхтоков, эту защиту должны обеспечить дополнительно устанавливаемые (добавочные) предохранители или автоматические

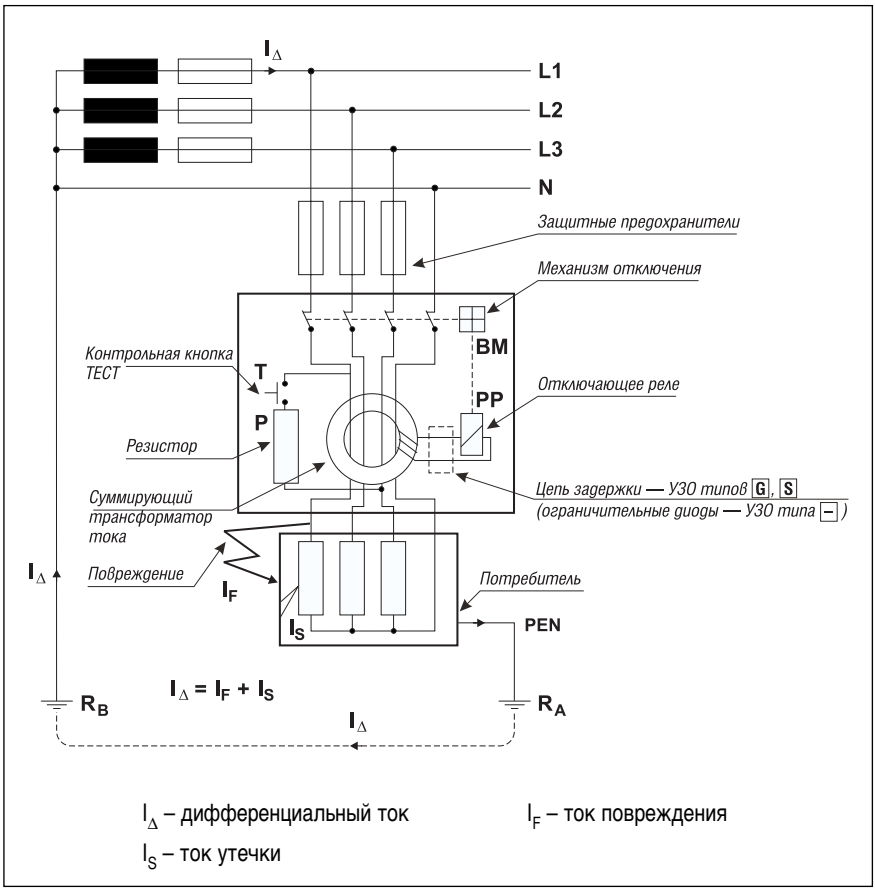


Рис. 10 Принципиальная схема подключения УЗО (сеть системы ТТ)

выключатели, причем значение их номинального тока указывает изготовитель УЗО. Параметры добавочного предохранителя или автоматического выключателя определяют устойчивость УЗО к короткому замыканию. Поэтому для характеристики УЗО, в части воздействия на него токов короткого замыкания, часто употребляют более точный термин – условная устойчивость к короткому замыканию (см. главу 9). Другим решением проблемы является использование УЗО со встроенной максимальной токовой защитой.

Замечание.

Необходимо различать два понятия: номинальный отключающий дифференциальный ток и номинальный ток УЗО. Определение этих терминов приведены в начале книги в разделе "Термины".

6.2. Требования к подключению УЗО

При монтаже УЗО должны быть выполнены следующие условия:

а) защищаемые открытые проводящие части должны быть присоединены к защитному проводнику;

б) защитные проводники выбираются в соответствии со стандартом МЭК 60 364-5-54;

в) через окно трансформатора тока должны быть пропущены все необходимые, с точки зрения нормального функционирования УЗО, рабочие проводники (см. рис. 13);

г) УЗО должно отключать все рабочие проводники защищаемой цепи;

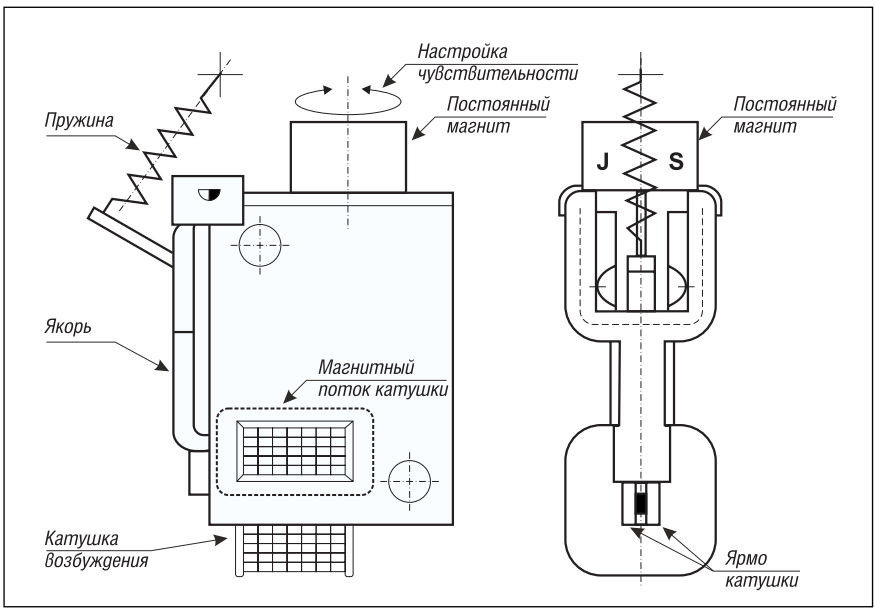


Рис. 11 Отключающее реле с постоянным магнитом

д) через окно трансформатора тока УЗО пропускать защитный проводник (PE, PEN) не следует;

е) до введения в эксплуатацию УЗО должно быть испытано, а в процессе эксплуатации его состояние должно периодически контролироваться (обычно раз в 1–3 месяца).

Приведенные условия являются общими для всех типов систем заземления электрических сетей. При использовании сети системы TN в большинстве стран не требуется отключение нулевого рабочего проводника (N), так как его потенциал очень близок к потенциалу земли. УЗО с прямым отключением всегда размыкают и проводник N.

Замечание к пункту „г".

В сетях систем TN-S и TN-C-S нулевой рабочий проводник отключаться не должен, если он находится надежно на потенциале земли (слово „надежно" означает, что напряжение прикосновения на открытой проводящей части при повреждении или перекрытии изоляции не будет превышать допустимое значение UL). Для обеспечения этого нулевой защитный проводник следует заземлять как можно в большем количестве мест. Нулевой рабочий проводник должен иметь четкое внешнее отличие (цветовое). Выполнение указанных выше требований позволяет выгодно использовать УЗО с непрямым отключением (рис. 13), где могут быть применены трехполюсные предохранители или автоматические выключатели.

7. ТИПОИСПОЛНЕНИЯ УЗО

Классификация УЗО, управляемых дифференциальным током, может быть произведена следующим образом:

– согласно способу монтажа: для фиксированного монтажа в распределительных щитах и мобильного монтажа (адаптеры для штепсельных розеток);
– согласно функциональной зависимости от напряжения питания:
  FI – функционально независимые,
  DI – функционально зависимые,
  HFI – функционально условно зависимые (см. главу 7.4);
– согласно конструкции механизма отключения: с прямым отключением (механизм отключения является составной частью УЗО) и непрямым отключением, принципиальная схема которого представлена на рис. 13 (в качестве детектора используется суммирующий трансформатор тока, анализатора – отключающее реле, отключающего устройства – контактор или автоматический выключатель);
– согласно числу полюсов: двухполюсные и четырехполюсные (см. главу 7.1);
– согласно выдержке времени при отключении: без задержки срабатывания, с задержкой срабатывания – тип G, и селективные – тип S (см. главу 7.6);
– согласно виду защиты от сверхтоков: без встроенной максимальной токовой защиты и со встроенной максимальной токовой защитой (см. главу 9).

Ниже рассмотрены некоторые типоисполнения УЗО.

а – для фиксированного монтажа на приборную шину

б – комбинация автоматического выключателя и дифференциального расцепителя

Рис. 12 Внешний вид УЗО для фиксированного монтажа

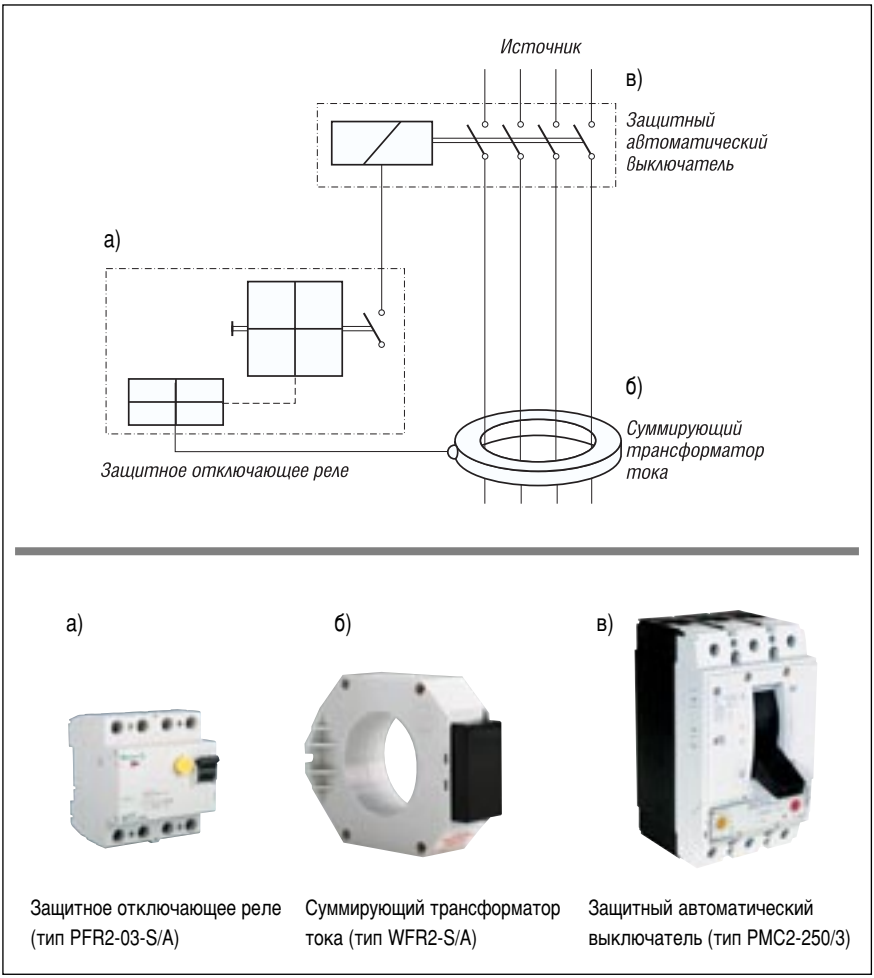


Рис. 13 Структурная схема УЗО с непрямым отключением

7.1 Число полюсов

Как было отмечено ранее, УЗО по конструктивному выполнению делятся на двухполюсные, которые предназначены для защиты в однофазных цепях (L, N), и четырехполюсные, используемые в трехфазных сетях (L1, L2, L3, N).

Схемы двухполюсных и четырехполюсных УЗО представлены на рис. 14.

Замечание.

Если нулевой рабочий проводник не используется, то к УЗО подключаются только фазные проводники. Применение четырехполюсного УЗО возможно и в двухпроводных сетях. В этих случаях для обеспечения функционирования цепи контроля (с кнопкой "ТЕСТ" и ограничительным сопротивлением) необходимо правильно подключить проводники сети к зажимам УЗО. В общем случае рекомендуется подключать к входным зажимам полное число рабочих проводников, даже если для питания электропотребителя используется только часть из них (например, не используется проводник N для подключения асинхронного двигателя). Это самый простой способ исключения ошибки при обеспечении функционирования цепи контроля.

7.2. Температура окружающей среды

Приведенное на рис. 15 обозначение указывает минимальную отрицательную температуру окружающей среды, на которую рассчитана конструкция УЗО. Значение температуры минус 25°С является достаточным для использования УЗО в наружных установках [1)] , конечно, при наличии высокой степени защиты оболочек корпусов, внутри которых устанавливаются УЗО. Если на корпусе УЗО такой отметки нет, то устройство соответствует требованиям для работы в диапазоне температур от минус 5°С до плюс 40°С. Если УЗО эксплуатируется при температуре, значение которой находится вне рабочего диапазона, происходит изменение параметров устройства. Для УЗО, работающих при температуре окружающей среды до минус 25°С, применяются специальные магнитные материалы, стоимость которых составляет существенную часть общей стоимости УЗО.

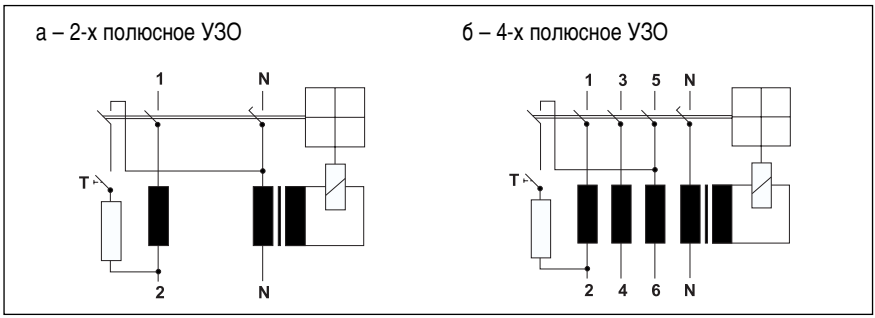


Рис. 14 Структурные схемы УЗО с различным числом полюсов

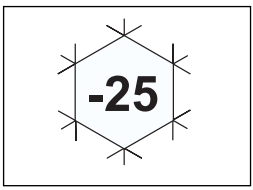


Рис. 15 Обозначение на корпусе УЗО, предназначенного для работы при температуре окружающей среды до минус 25 °С.

Примечание редактора.

1) Имеется в виду использование УЗО в районах с умеренным климатом.

7.3. Частота

УЗО сконструированы для работы в сетях переменного тока промышленной частоты, и все параметры устройства соответствуют этой частоте. Как следует из принципа работы устройства, для переноса энергии в суммирующем трансформаторе используется индуктивная связь, параметры которой в существенной мере зависят от частоты тока. Поэтому при желании применить УЗО в цепях с более высокими частотами рекомендуем пользоваться консультацией изготовителя.

7.4. Зависимость функционирования УЗО от напряжения питания

7.4.1. УЗО, функционально независимые от напряжения питания (УЗО типа FI)

Конструкция и принцип действия УЗО типа FI описаны в главе 6.1. Структурная схема устройства этого типа представлена на рис. 16.

Чувствительный механизм отключения УЗО типа FI оснащен механическим сборником энергии, в состав которого входит механизм свободного расцепления. Аккумулирование механической энергии, необходимой для отключения, осуществляется при растяжении пружины механизма отключения. Сила, требуемая для срабатывания механизма свободного расцепления очень мала. Поэтому для того, чтобы обеспечить надежную работу при относительно больших усилиях в контактной системе УЗО (обычно несколько килограммов), механизм отключения должен быть качественно изготовлен и точно настроен.

Отключающее реле с постоянным магнитом (рис. 11) является главной составной частью УЗО типа FI, так как его правильное функционирование вносит наиболее весомый вклад в обеспечение чувствительности и надежности УЗО в целом.

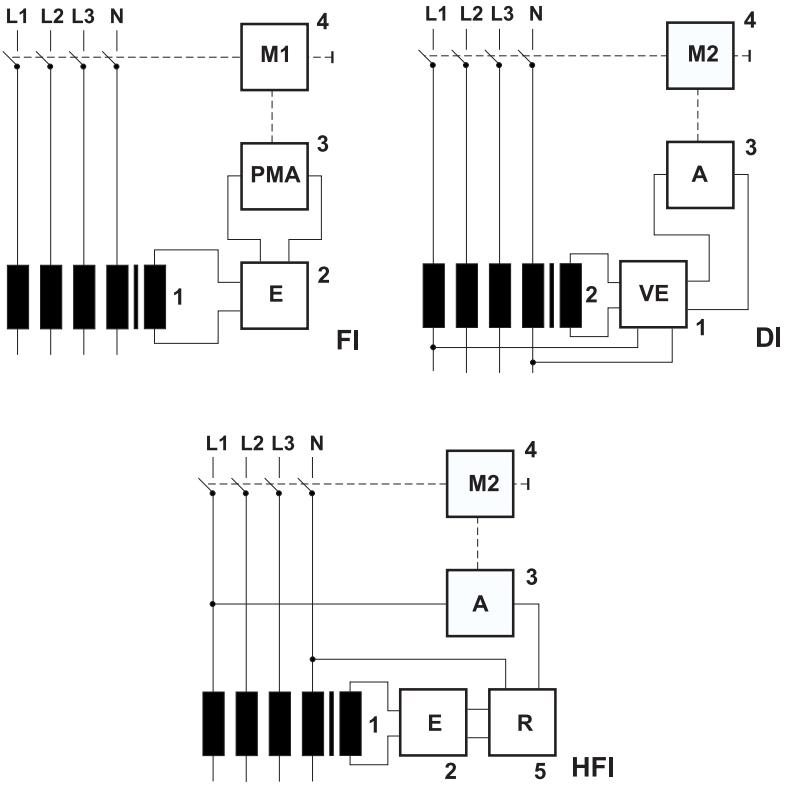
Независимость от напряжения защищаемой цепи является преимуществом УЗО типа FI по сравнению с УЗО других типов. Источником получения энергии, необходимой для срабатывания механизма отключения, является только вторичная обмотка суммирующего трансформатора тока при наличии в защищаемой цепи тока, протекающего в землю или в защитный проводник. Значение номинального отключающего дифференциального тока УЗО типа FI может составлять 10 мА, однако это значение, как уже отмечалось ранее, не приносит по сравнению с $I_{\Delta n}$ = 30 мА, ощутимого повышения уровня безопасности (см. рис. 5).

7.4.2. УЗО, функционально зависимые от напряжения питания (УЗО типа DI)

УЗО, функционально зависимые от напряжения питания типа DI, содержат электронный усилитель, который служит для усиления и анализа величины напряжения на вторичной обмотке суммирующего трансформатора тока при возникновении дифференциального

тока. Структурная схема УЗО типа DI представлена на рис. 16.

Реле, питаемое от усилителя, не должно иметь такую высокую чувствительность, как отключающее реле УЗО типа FI. Механизм отключения также может быть более грубым и похожим по своей конструкции на механизм автоматических выключателей. Эти факторы обеспечивают высокую эксплуатационную надежность механической части УЗО. Учитывая,



FI: 1 – суммирующий трансформатор тока, 2 – электронная цепь задержки для типов G и S, 3 – отключающее реле (PMA – permanent magnet auslöser); 4 – чувствительный механизм отключения;

DI: 1 – суммирующий трансформатор тока, 2 – электронная цепь анализа с реле, 3 – электромагнитный пусковой механизм, 4 – механизм отключения;

HFI: 1 – суммирующий трансформатор тока, 2 – электронная цепь анализа и цепь задержки, 3 – электромагнитный пусковой механизм, 4 – механизм отключения, 5 – миниатюрное реле (тиристор) для воздействия на электромагнитный пусковой механизм.

Рис. 16 Структурные схемы УЗО типов FI, DI и HFI

что анализ дифференциального тока осуществляет электронный усилитель, эксплуатационная надежность УЗО типа DI ограничена надежностью элементов электронной схемы, которые постоянно находятся под напряжением.

УЗО типа DI делятся на две группы [1]:

– УЗО, не отключающие защищаемую цепь в случае исчезновения напряжения в сети;
– УЗО, отключающие защищаемую цепь в случае исчезновения напряжения в сети [2].

Свойство УЗО, заключающееся в отключении защищаемой цепи при исчезновении напряжения иногда используется для защиты от понижения напряжения. Например, благодаря использованию УЗО типа DI для штепсельных розеток, решается проблема с питанием переносного ручного электроинструмента, который отключается в случае значительного понижения напряжения питания.

Нормы, касающиеся испытаний, требуют, чтобы УЗО, функционально зависимые от напряжения питания, надежно работали в пределах от 85% до 110% номинального напряжения.

7.4.3. УЗО, функционально условно зависимые от напряжения питания (УЗО типа HFI)

Замена периодической проверки, проводимой с помощью контрольной кнопки „ТЕСТ“, на периодическую, независимую от человека, автоматическую проверку, является задачей, не решаемой по техническим и экономическим причинам. Поэтому для повышения надежности работы УЗО предложено новое решение (рис. 16), заключающееся в использовании высоконадежных элементов конструкции. Срабатывание механизма отключения вызывается не при помощи реле с постоянным магнитом, а посредством мощного электромагнитного пускового механизма, как у УЗО типа DI. Электромагнитный пусковой механизм пассивен до тех пор, пока на него не воздействует электронная цепь, которая анализирует сигнал, получаемый от суммирующего трансформатора тока. Питание этой цепи также осуществляется от вторичной обмотки суммирующего трансформатора тока. Поэтому электронные цепи анализа работают только при наличии определенной величины дифференциального тока, что обеспечивает наиболее высокую степень их надежности. Такие УЗО согласно классификации стандарта МЭК 755 являются функционально зависимыми от напряжения питания. Однако, учитывая, что зависимым является только пусковой механизм и, в отличие от УЗО типа DI, только при небольших значениях напряжения (до 50 В) эти УЗО можно назвать условно зависимыми от напряжения питания.

Примечания редактора.

1) Существенным недостатком УЗО этого типа является невозможность выполнения им своих функций при прекращении питания электронной цепи анализа, например, в случае обрыва нулевого рабочего проводника.

2) В соответствии с, действующими в настоящее время, отечественными временными указаниями по применению УЗО в электроустановках жилых зданий, УЗО должны сохранять работоспособность и характеристики при кратковременных (до 5 с) провалах напряжения до 50% номинального, а использование в указанных зданиях УЗО, автоматически отключающих потребителей от сети при исчезновении или недопустимом падении напряжения в сети, не допускается.

Высокая надежность отдельных элементов УЗО обуславливает высокую надежность устройства в целом. Если для ранее описанных исполнений УЗО вероятность неисправности составляет от 3 до 5% в течение десяти лет, то использование рассматриваемой конструкции позволяет снизить этот показатель на порядок. На использовании описанного принципиально нового решения основана конструкция УЗО типа HFI, которая не имеет контрольной кнопки „ТЕСТ“, как это требуется в стандарте МЭК 755. УЗО этого типа оснащено сервисной кнопкой „SERVICE“, служащей для проверки устройства до его ввода в эксплуатацию, а в дальнейшем – для проведения периодических ревизий (1 раз в несколько лет)[1)].

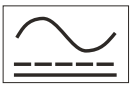
7.5. Чувствительность УЗО к различным видам дифференциального тока

В ряде случаев в связи с использованием силовых схем с полупроводниковыми элементами происходит искажение кривой переменного тока, сопровождающееся ростом в ней доли постоянной составляющей. При применении УЗО в цепях с мощными потребителями необходимо анализировать кривую тока, протекающего через УЗО, и выбрать соответствующий этой кривой тип устройства. Чаще всего применяют УЗО, предназначенные для переменного дифференциального тока (тип AC), реже – для переменного и одновременно для пульсирующего постоянного тока (тип A) [2)]. Графические обозначения, характеризующие соответствующий тип УЗО, представлены в таблице 4 и их можно найти на корпусе каждого устройства [3)].

Замечание.

Использование УЗО с $I_{\Delta n}$ = 10 мА в большинстве случаев не приносит заметного повышения уровня безопасности по сравнению с применением УЗО с $I_{\Delta n}$ = 30 мА. В то же время при использовании УЗО с $I_{\Delta n}$ = 10 мА возникает ряд проблем, связанных с ложными отключениями УЗО, из-за имеющихся в сети небольших естественных токов утечки (например, при наличии незначительной влажности). Если в каких-либо требованиях речь идет о номинальном отключающем дифференциальном токе УЗО, равном 10 мА, то в большинстве случаев в основе этих требований лежат статьи немецких стандартов.

Таблица 4. Обозначения, характеризующие чувствительность УЗО к различным видам дифференциального тока (согласно стандарту МЭК 755)

Обозначение	Тип	Свойства УЗО
	AC	Чувствительно к переменному дифференциальному току
	A	Чувствительно к переменному и пульсирующему постоянному [1] дифференциальным токам
	B	Чувствительно к переменному, пульсирующему постоянному и сглаженному постоянному дифференциальным токам

7.6. Время срабатывания УЗО

На рис. 17а изображено УЗО для общего применения, отключающееся сразу же после возникновения дифференциального тока, значение которого превышает величину, необходимую для срабатывания. На рис. 17б и 18 изображено УЗО, которое обеспечивает определенную небольшую задержку срабатывания. Достаточно однозначно эта задержка характеризуется термином – предельное время неотключения (10 мс для типа G и 40 мс для типа S). В течение этого нормированного отрезка времени УЗО не должно срабатывать даже при большом дифференциальном токе. При кратковременном импульсе дифференциального тока энергия импульса недостаточна для заряда конденсатора до уровня предельного напряжения опрокидывающегося органа, а значит не произойдет срабатывание отключающего реле и отключение УЗО. Отключение УЗО типов G и S происходит при определенных значениях величины и продолжительности дифференциального тока. Целью задержки срабатывания является устранение ложных отключений, которые являлись и до сих пор часто являются аргументом против использования УЗО.

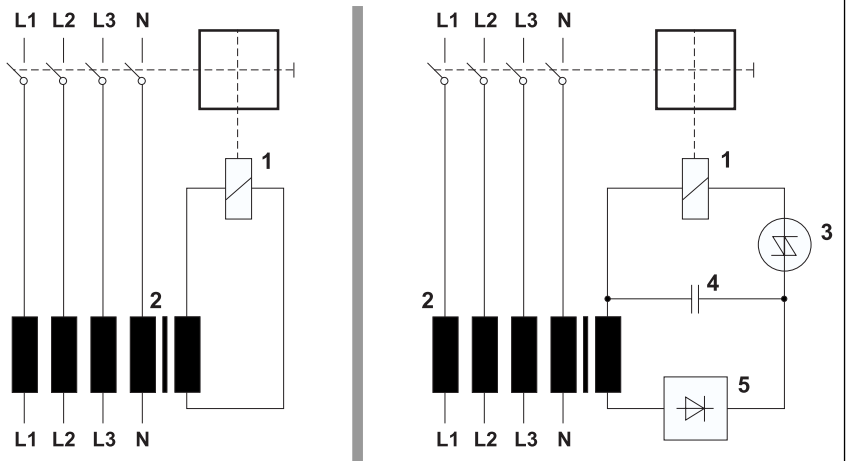
В табл. 5 приведены предельные значения времени отключения УЗО различных типов [3].

Примечания редактора.

1) Пульсирующий постоянный ток – волнообразные импульсы тока длительностью (в угловой мере) не менее 150° за одни период пульсации, следующие периодически с номинальной частотой и разделенные промежутками времени, в течение которых постоянный ток принимает значение, не превышающее 0,006 А.

2) Сглаженный постоянный ток – постоянный ток с незначительными волнообразными импульсами (коэффициент пульсации не выше 10%).

3) Указанные в табл. 5 значения отличаются от приведенных в стандарте МЭК 755.



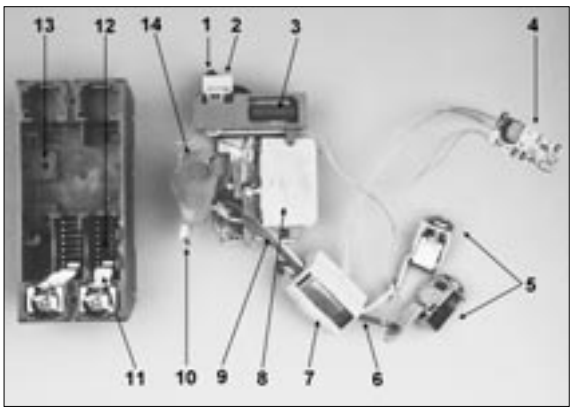
а – без задержки срабатывания

б – с задержой срабатывания

1 – отключающее реле;
2 – суммирующий трансформатор тока;
3 – опрокидывающийся орган;
4 – конденсатор;
5 –выпрямитель.

Риц. 17 Структурные схемы УЗО

1 – ручка управления;
2 – кнопка цепи контроля (ТЕСТ);
3 – ограничительное сопротивление цепи контроля;
4 – цеп задержки срабатывания;
5 – хомутные зажимы;
6 – концы вторичной обмотки суммирующего трансформатора тока;
7 – суммирующий трансформатор тока;
8 – отключающее реле в корпусе;
9 – провода первичной обмотки суммирующего трансформатора тока ;



10 – подвижные контакты;
11 – неподвижные контакты;
12 – дугогасительная камера;
13 – вращающийся контактный механизм;

Риц. 18 УЗО с задержкой срабатывания (типы G и S)

Таблица 5. Предельные значения времени отключения УЗО в зависимости от величины дифференциального тока I_Δ (см. также рис. 19)

Тип УЗО		Время отключения, с, при			
		$I_\Delta = I_{\Delta n}$	$I_\Delta = 2I_{\Delta n}$	$I_\Delta = 5I_{\Delta n}$	I_Δ = 500 мА
—	Для общего использования без задержки	<0,3	<0,15	<0,04	<0,04
G	С минимальной задержкой 10 мс	0,01...0,3	0,01...0,15	0,01...0,04	0,01...0,04
S	Селективное с минимальной задержкой 40 мс	0,13...0,5	0,06...0,2	0,05...0,15	0,04...0,15

Из табл. 5 следует:

– УЗО для общего применения без задержки срабатывания и УЗО типа G имеют одинаковые верхние предельные значения времени отключения. УЗО этих типов должны отключиться не позже 0,3 с после возникновения дифференциального тока $I_\Delta = I_{\Delta n}$, а устройства селективного типа – не позже 0,5 с;
– у УЗО для общего применения отсутствует нижняя граница времени срабатывания;
– УЗО с задержкой срабатывания имеет определенное время неотключения, когда устройство находится в состоянии ожидания. Очевидно, что УЗО с задержкой срабатывания можно использовать для исключения ложных срабатываний под влиянием кратковременных внешних воздействий (перенапряжений, различных помех, коммутаций электроприемников – см. главу 13).

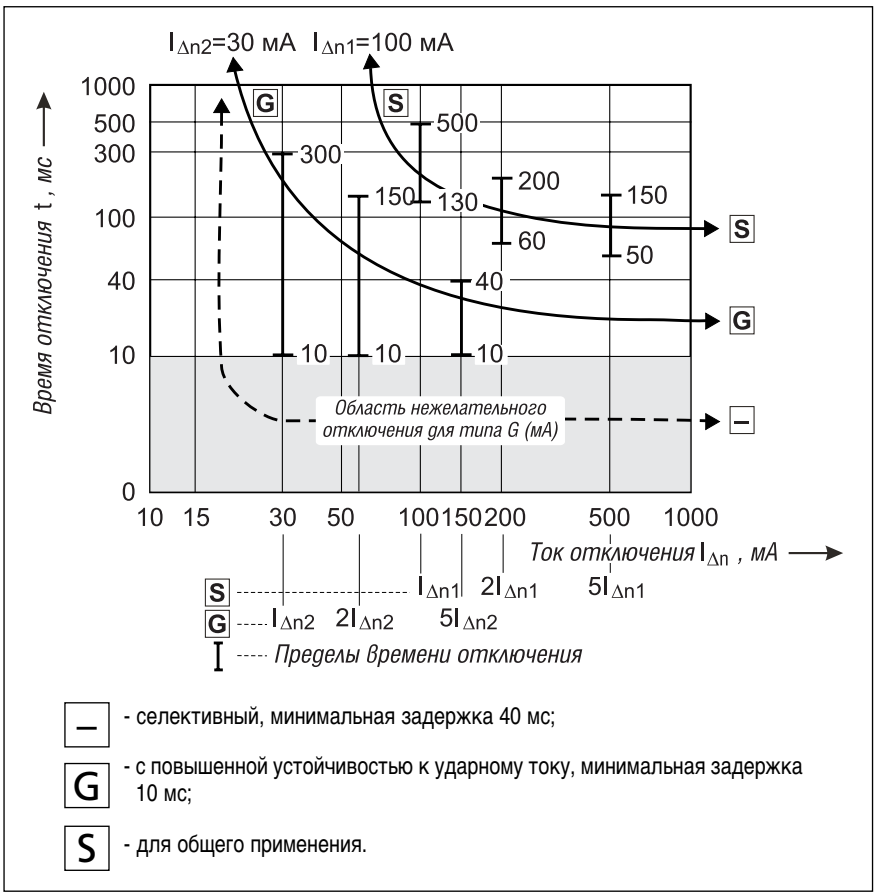
К УЗО также предъявляется требование, заключающееся в том, что рабочий диапазон срабатывания устройства должен находиться в пределах от 50 до 100 процентов номинального отключающего дифференциального тока $I_{\Delta n}$.

Параметр, называемый „устойчивость к импульсному току“, определяет наибольшую величину максимального мгновенного значения тока (ударный ток) в рабочих проводниках, при котором УЗО не должно сработать. Например, если у УЗО общего применения без задержки отключения устойчивость к импульсному току составляет 250 А, то в случае наличия ударного тока при коммутации электропотребителя, превышающего указанное значение, может произойти ложное отключение УЗО. Срабатывание произойдет из-за несимметричного расположения проводов в окне суммирующего трансформатора тока. Очевидно, что УЗО с задержкой срабатывания отличается повышенной устойчивостью к ударному току в рабочих проводниках.

8. СЕЛЕКТИВНАЯ РАБОТА УЗО

Селективность УЗО означает, что из последовательно включенных в цепь устройств срабатывает только то, которое расположено ближе к месту повреждения. Цель селективности – исключение нежелательных отключений последующих УЗО.

Для обеспечения селективности двух последовательно включенных в цепь УЗО их графически изображенные токо-временные характеристики срабатывания не должны иметь общих точек. Токо-временные характеристики УЗО различных типов (G, S и общего применения) представлены на рис. 19. Из рис. 19 видно, что расположение УЗО типа S с указанными на рисунке параметрами ближе к источнику питания обеспечит селективную работу устройств в схеме сети, изображенной на рис. 20.



Риц. 19 Время - токовые характеристики УЗО типов G, S и общего применения

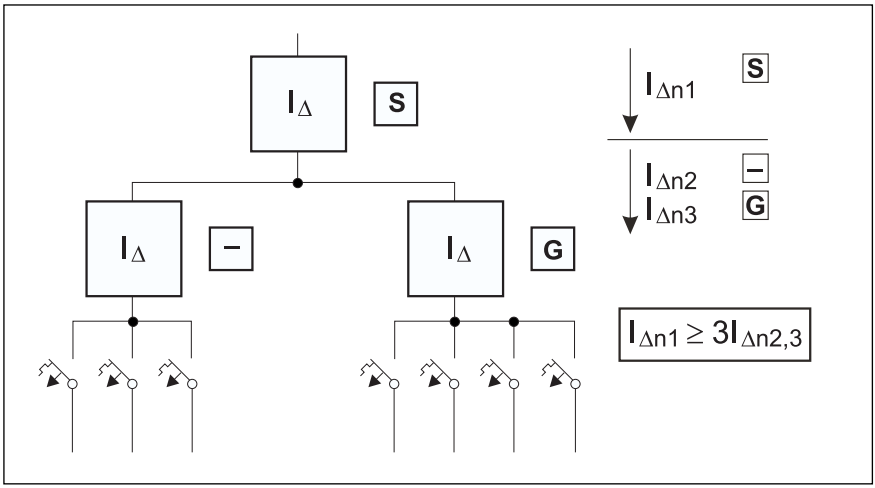


Рис. 20 Схема участка сети с селективно работающими УЗО

Для обеспечения селективной работы последовательно включенных в цепь УЗО во всех случаях (независимо от значений дифференциальных токов при повреждениях в сети) требуется выполнение двух условий:

1. УЗО, расположенное ближе к источнику питания, должно быть типа S (селективное). При этом достигается селективность по времени.
2. Значение номинального отключающего дифференциального тока $I_{\Delta n1}$ типа S должно быть не менее утроенного значения номинального отключающего дифференциального тока $I_{\Delta n2}$ УЗО типа G или общего применения, расположенных дальше от источника питания, то есть:

   $$I_{\Delta n1} \geq 3 \cdot I_{\Delta n2} \cdot \qquad [4]$$

   При этом достигается селективность по току.

9. УСТОЙЧИВОСТЬ УЗО К СВЕРХТОКАМ

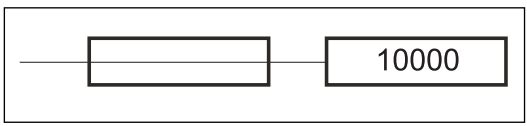
9.1. УЗО без встроенной максимальной токовой защиты

УЗО без встроенной максимальной токовой защиты не обладает устойчивостью к токам короткого замыкания. Это обстоятельство предопределяет обязательное использование для защиты таких УЗО дополнительных (добавочных) предохранителей или автоматических выключателей, устанавливаемых со стороны источника питания. УЗО рассматриваемого типа должны быть защищены от сверхтоков аналогично таким коммутационным аппаратам, как контакторы, выключатели, реле и т.д. При отключении добавочного защитного устройства под влиянием короткого замыкания может, конечно, произойти и срабатывание УЗО, но не его повреждение. В качестве примера выбора добавочного защитного устройства могут служить данные, приведенные изготовителем УЗО с номинальными токами от 16 до 63 А: для обеспечения условной устойчивости к токам короткого замыкания 10 кА требуется установка добавочных предохранителей 63 А gL/gG (предохранители общего использования для защиты электропроводки)1).

Графическое обозначение УЗО с условной устойчивостью к токам короткого замыкания 10 кА представлено на рис. 21.

Вместо предохранителей для защиты от коротких замыканий могут быть использованы автоматические выключатели. В случае применения автоматического выключателя класса селективности 3 [2)] согласно стандарту МЭК 898 возможно одновременное обеспечение защиты от перегрузки и токов короткого замыкания. При этом происходит определенное понижение устойчивости УЗО к токам короткого замыкания, так как токоограничивающая способность автоматического выключателя несколько ниже, чем предохранителя. Однако это понижение не существенно.

Риц. 21 Условное обозначение УЗО с добавочными предохранителями



Примечания редактора.

1) Здесь имеются в виду предохранители, изготовляемые фирмой FELTEN & GUILLEUAME (L – первая буква немецкого слова „leitung" – проводка; g – первая буква английского слова „general" – общее; gG – предохранители с задержкой срабатывания).

2) Стандартом МЭК 898 определены 3 класса селективности. Чем выше класс, тем меньшую энергию автоматический выключатель пропустит при коротком замыкании. Значение пропускаемой энергии, характеризуемое интегралом Джоуля I^2t, зависит главным образом от скорости отключения и эффективности работы дугогасительной камеры.

9.2. УЗО со встроенной максимальной токовой защитой

УЗО со встроенной максимальной токовой защитой являются комбинацией двух защитных устройств – УЗО и автоматического выключателя [1)]. Обозначения таких устройств, используемые в зарубежной литературе и материалах фирм – RSBO (английское обозначение), FI/LS или DI/LS (немецкое обозначение).

Встроенная максимальная токовая защита осуществляет защиту от сверхтоков – как контактов УЗО, так и электрической цепи. Механизм отключения встроенного автоматического выключателя, обеспечивающего защиту от сверхтоков, используется так же для отключений, производимых УЗО. Технические данные УЗО, рассматриваемого типа, представляют собой комбинацию параметров УЗО (номинальный отключающий дифференциальный ток и другие) и автоматического выключателя (номинальный ток, отключающая способность и т. д.). Характеристики отключения встроенного защитного выключателя и УЗО ($I_{\Delta n}$ = 30 мА) представлены на рис. 22.

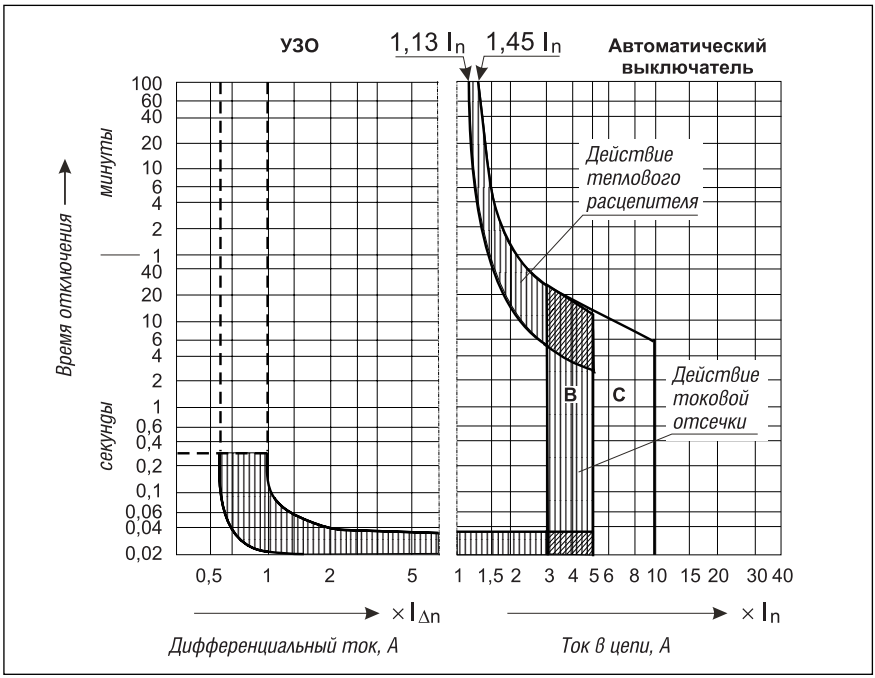


Рис. 22 Время-токовые характеристики УЗО ($I_{\Delta n}$ = 30 мА) со встроенным автоматическим выключателем.

Примечание редактора.

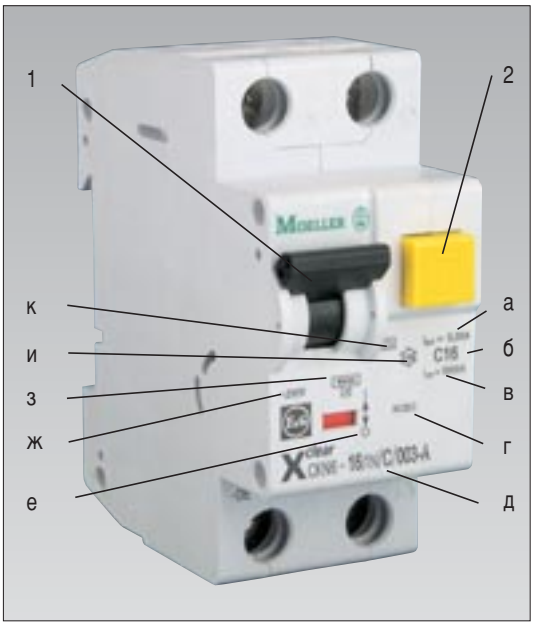
1) В соответствии с действующими в настоящее время отечественными временными указаниями по примечанию УЗО в электроустановках жилых зданий, в этих зданиях преимущественно должны использоваться УЗО со встроенной максимальной токовой защитой.

Технические требования для конструирования и испытаний УЗО со встроенной максимальной токовой защитой приведены в международном стандарте МЭК 61009. Для контроля работы встроенного автоматического выключателя действуют аналогичные требования, которые приведены в стандарте МЭК 898.

Для однозначной идентификации параметров УЗО со встроенной максимальной токовой защитой в стандарте МЭК 61009 приведены требования к отметкам на корпусе УЗО (рис. 23).

1 – цветная ручка управления

2 – кнопка контроля (тестирования)



а – номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО

б – номинальный ток автоматического выключателя

в – отключающая способность автоматического выключателя

г – RCBO = УЗО со встроенной максимальной токовой защитой

д – тип устройства

е – положение (I – вкл., 0 – откл.)

ж – номинальное напряжение

з – номинальная отключающая способность автоматического выключателя, класс селективности защитного выключателя

и – возможное использование УЗО при температуре не ниже минус 25 °C

к – чувствительность УЗО к различным видам дифференциального тока (тип AC)

Риц. 23 Отметки на корпусе УЗО со встроенной максимальной токовой защитой

10. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЗО

10.1. Использование УЗО в качестве дополнительной защиты

Как уже было отмечено ранее, в случае прямого прикосновения человека к токоведущей части, через тело человека протекает электрический ток (рис. 24), значение которого определяется рядом факторов, указанных в главе 4. УЗО воспринимает этот ток как дифференциальный и производит отключение цепи. Несмотря на то, что дополнительная защита посредством УЗО с $I_{\Delta n} \leq 30$ мА не является обязательной, она может обеспечить защиту от поражения электрическим током в случаях отказа основной защиты (например, повреждение изоляции), обрыва защитного проводника, халатности при монтаже, эксплуатации или изготовлении электроприемников (см. рис. 25).

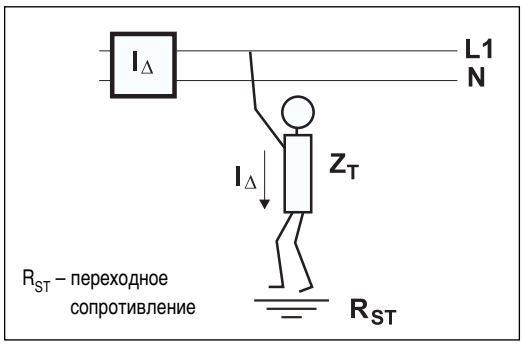


Рис. 24 Использование УЗО в качестве дополнительной защиты

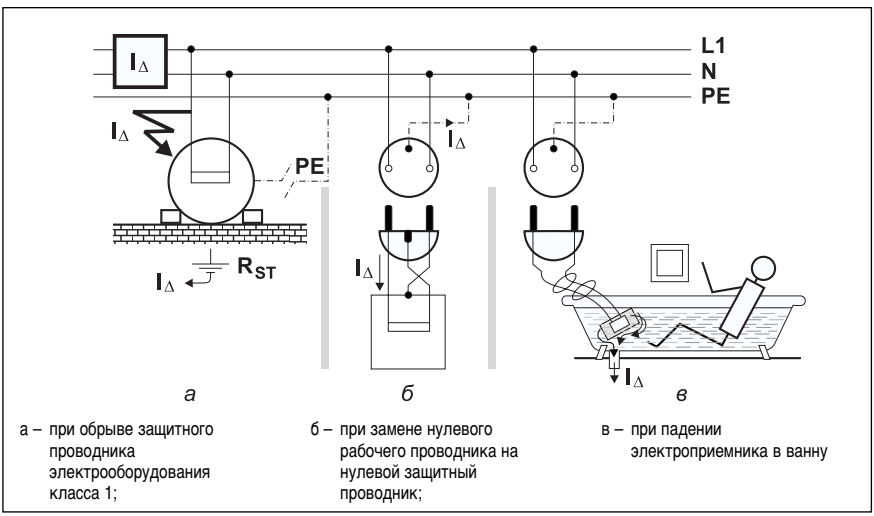


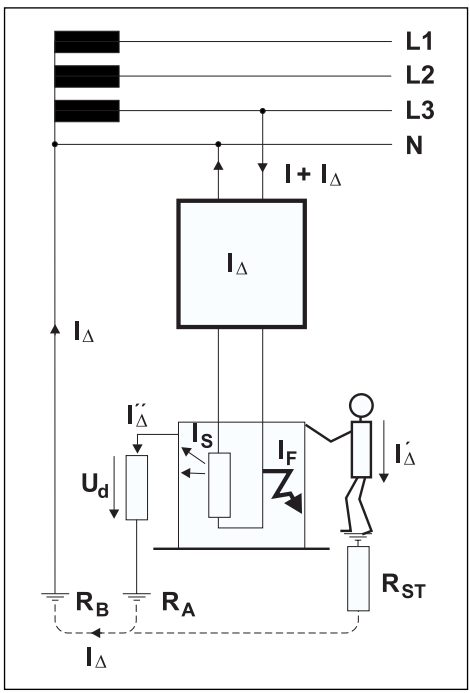
Рис. 25 Защита от смертельного поражения с помощу УЗО с $I_{\Delta n} \leq 30$ мА

Как следует из названия, дополнительная защита посредством чувствительного УЗО с $I_{\Delta n} \leq 30$ мА не считается основной, а только дополняет основную защиту (например, двойную изоляцию).

В соответствии со стандартами, определяющими требования к специальным установкам, использование чувствительной дополнительной защиты при помощи УЗО требуется в бытовых помещениях (ванные и душевые), строительстве, сельском хозяйстве, промышленности и т. п. Следует заметить, что согласно международному стандарту МЭК 60 364-4-47, если в качестве меры защиты применяется автоматическое отключение питания, то для защиты в сетях штепсельных соединителей наружной установки на номинальный ток до 20 А, предназначенных для подключения передвижных электроприемников наружной установки, необходимо применять УЗО с $I_{\Delta n} \leq 30$ мА. В случаях, когда сети штепсельных розеток на номинальный ток до 20 А эксплуатируются неквалифицированными, необученными людьми, указанный стандарт рекомендует в качестве дополнительной защитной меры также применять УЗО с $I_{\Delta n} \leq 30$ мА.

10.2. Использование УЗО в качестве защиты от косвенного прикосновения

Из рис. 26 с изображенной на нем сетью системы TT видно, что результирующий ток повреждения I_{Δ}, на который реагирует УЗО, представляет собой сумму токов, протекающих по защитному проводнику в землю I_{Δ}'' и через тело человека I_{Δ}'. То же самое происходит и в сети системы TN, где преобладающая часть тока повреждения протекает по защитному проводнику, а небольшая часть по телу человека.



Риц. 26 Защита открытых проводящих частей посредством УЗО

Идеальное состояние, когда ток от открытых проводящих частей в землю вообще не протекает, практически не осуществимо. Вследствие конечного значения сопротивления изоляции электрооборудования (от сотен кОм до ГОм) всегда имеется наличие тока утечки I_S. В случае повреждения изоляции или непосредственного прикосновения человека к токоведущей части возникает ток замыкания на землю I_F. УЗО реагирует на сумму указанных токов, то есть на $I_\Delta = I_F + I_S$. При отсутствии тока I_F и нормальном уровне тока утечки УЗО сработать не должно. Срабатывание должно происходить только при наличии тока замыкания на землю. Таким образом, необходимо обратить внимание на выбор значения номинального отключающего дифференциального тока УЗО $I_{\Delta n}$ в случаях, когда обычное значение тока утечки относительно большое. Если значения тока утечки слишком высоки, например, во влажной среде, при использовании термического оборудования и т. п., к одному УЗО следует подключать как можно меньшее число потребителей. Согласно существующему правилу значение тока утечки не должно превышать 1/3 $I_{\Delta n}$ [1)].

Значение выбранного номинального отключающего дифференциального тока УЗО определяет качественный уровень защиты от косвенного прикосновения. При этом минимальное значение номинального отключающего дифференциального тока УЗО не нормируется и величина $I_{\Delta n}$ может составлять 100, 300 мА, а иногда 0,5 и 1 А.

10.3 Использование УЗО для обеспечения пожаробезопасности

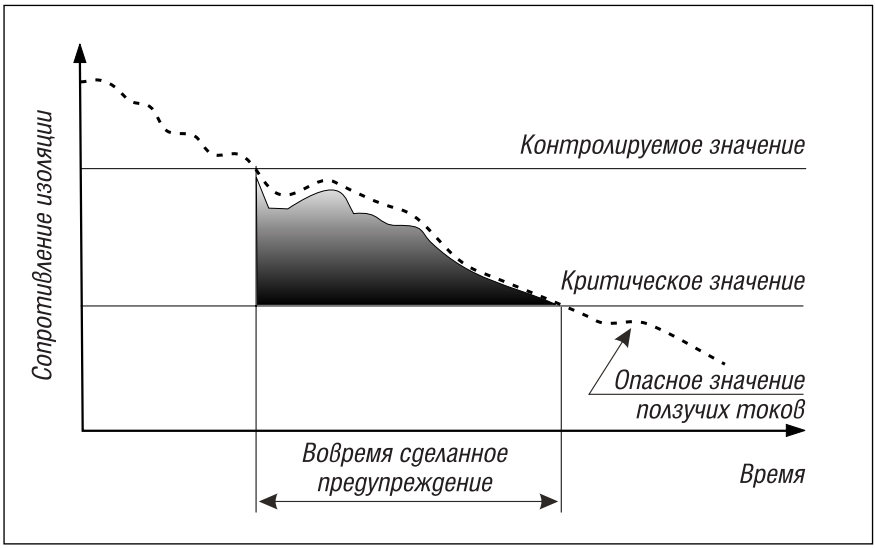
В результате постепенного ухудшения состояния изоляции электропроводки и оборудования появляются условия для образования тока утечки. При этом в связи с наличием пыли и загрязненности возникает так называемый „ползучий ток“. Этот ток способен вызвать нагрев какой-либо части оборудования или строительной конструкции и как следствие, возникновение пожара. Ориентировочное граничное значение мощности, которая способна вызвать возгорание горючих материалов по информации зарубежных литературных источников, составляет 60 Вт. Опасность возникновения пожара можно ограничить путем использования УЗО с $I_{\Delta n}$ = 300 мА.

Сказанное выше проиллюстрировано на рис. 27, где без указания конкретных значений показано возможное изменение состояния изоляции электрической проводки и оборудования в результате ее старения. На этом же рисунке выделена область целесообразного срабатывания УЗО.

Примечание редактора.

1) Указанное правило распространяется также на УЗО для защиты от прямого прикосновения (дополнительная защита). В соответствии с действующими в настоящее время отечественными временными указаниями по применению УЗО в электроустановках жилых зданий при отсутствии данных о токах утечки электроприемников их значение следует принимать из расчета 0,3 мА на 1 А тока нагрузки, а токов утечки в сети – из расчета 10 мкА на 1 метр длины фазного проводника.

Одновременно с ограничением опасности возникновения пожара при применении УЗО типа S решается проблема селективности отключения последовательно включенных УЗО (обычно с номинальным отключающим дифференциальным током 300 и 30 мА).



Риц. 27 Изменение состояния изоляции электропроводок и оборудования в результате старения изоляции

11. ПРОВЕРКА И ИСПЫТАНИЕ ЗАЩИТ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ УЗО, ПРИ РЕВИЗИЯХ [1)]

Ознакомление с нормами по испытанию УЗО (стандарты МЭК 61008, МЭК 755) показывает, что производство проверок и испытаний УЗО при ревизиях в полном объеме испытаний, указанном в этих стандартах, практически неосуществимо. Полная гамма испытаний требуется для проверки механических и электрических характеристик при квалификационных испытаниях нового типа УЗО. Целью же ревизии является проверка эффективности защитных мер с УЗО, выполненных в соответствии со стандартом МЭК 60 364-4-41. Объем проверок при ревизиях приведен в стандарте МЭК 60 364-6-61.

При ревизии требуется проверить качество соединений и допустимость значений их переходных сопротивлений, наличие цветного обозначения проводов [2)], состояние изоляции между рабочими и защитным проводниками, правильность выбора электропроводки с точки зрения обеспечения условий для нормальной работы защиты от сверхтоков, эффективность действия УЗО и т. п. Проверка УЗО является только одним из мероприятий ревизии, однако ей следует уделять особое внимание и учитывать при ее выполнении специфические свойства УЗО с различными характеристиками срабатывания (–, G, S). Поскольку защита посредством УЗО предназначена для ограничения времени, в течение которого ток замыкания протекает по телу человека, целью проверки является фиксация автоматического отключения УЗО в установленное время при определенном дифференциальном токе.

После монтажа УЗО необходимо произвести:

осмотр и оценку состояния электропроводки и оборудования;

проверку действия УЗО (кнопкой TEST, SERVICE);

проверку эффективности действия защиты, использующей УЗО.

Осмотр и оценка состояния электропроводки.

Самым важным при выполнении этого мероприятия является осуществление контроля правильности и качества подключения защитного проводника, а также разделения проводника PEN до и после УЗО. Если выполнено цветное обозначение проводников, то возможно относительно просто произвести визуальный контроль соединений.

Примечания редактора.

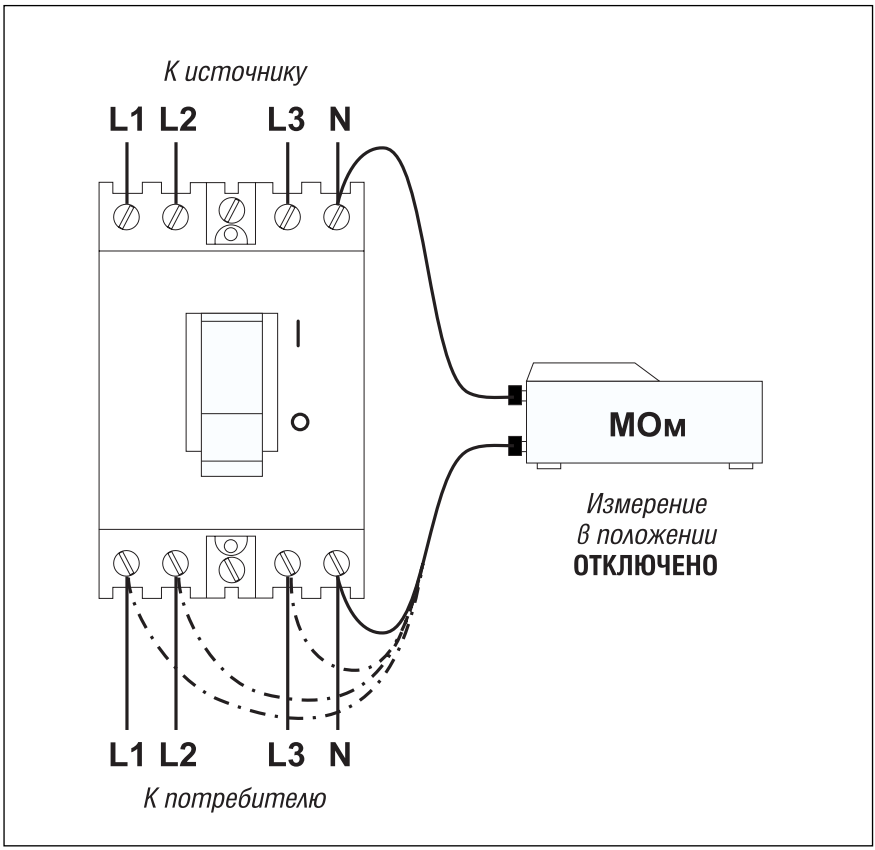
1) Отечественные нормы приемо-сдаточных и периодических испытаний защиты, использующей УЗО, пока не разработаны. Поэтому не исключено, что методы ревизионных проверок и испытаний защит, реагирующих на дифференциальный ток, у нас будут несколько отличаться от описанных в настоящей главе, хотя основные принципы, по-видимому, будут сохранены.

2) К сожалению, требование обязательной отличительной окраски фазных, нулевых рабочих и защитных жил кабелей и проводов у нас отсутствует. Это обстоятельство усложняет монтаж и увеличивает вероятность ошибки при подключении.

Защитный проводник с зелено-желтой окраской может быть присоединен только к защитным зажимам и ни в коем случае к нулевому рабочему проводнику.

Сопротивление изоляции между проводниками измеряется при отключенном УЗО (рис. 28). Измерением должно быть проверено сопротивление между нулевым рабочим проводником, подключенным к УЗО со стороны источника питания и всеми фазными рабочими проводниками, а также нулевым рабочим проводником, подключенным к УЗО со стороны потребителя. Последнее из упомянутых измерений необходимо для проверки отсутствия соединения проводников PE и N после УЗО.

До измерения сопротивления изоляции необходимо определить – используются ли в измеряемой цепи разрядники или ограничители перенапряжения, наличие которых существенно влияет на результаты измерений.



Риц. 28 Измерение сопротивления изоляции в цепи с УЗО

Проверка действия УЗО.

После осмотра и оценки состояния электропроводки следует включить УЗО и нажать на кнопку ТЕСТ. Если цепь находится под напряжением, то УЗО должно отключиться. Нажатием кнопки имитируется повреждение, ток которого ограничен напряжением питания и величиной сопротивления Р контрольной цепи УЗО (см. рис. 10). Значение искусственно созданного тока повреждения может доходить до 2,5 $I_{\Delta n}$. Если после нажатия кнопки отключение не произойдет, то УЗО является неисправным.

Проверка эффективности действия защиты, использующей УЗО.

Эффективность защиты, использующей УЗО, проверяется путем испытаний. Для испытаний используются приборы и методы, указанные в стандарте МЭК 60 364-6-61. При проведении испытаний необходимо учитывать погрешность измерительных приборов и методики измерений.

Испытания должны подтвердить следующее:

– УЗО отключается при значении дифференциального тока, не превышающем величину номинального отключающего дифференциального тока;
– величина напряжения прикосновения на открытых проводящих частях при $I_{\Delta} = I_{\Delta n}$ не превышает предельно допустимого значения U_L.

При необходимости получения большего объема информации об испытуемом УЗО возможно при помощи измерительных приборов определить минимальный отключающий дифференциальный ток УЗО путем постепенного увеличения значения дифференциального тока и далее определить время отключения при номинальном отключающем дифференциальном токе и кратным ему величинам ($2I_{\Delta n}$, $5I_{\Delta n}$).

11.1. Измерение отключающего дифференциального тока УЗО

Все требования, предъявляемые к защите посредством УЗО, связаны с номинальным отключающим дифференциальным током $I_{\Delta n}$. Поэтому утверждение о том, что защита, управляемая дифференциальным током, доказуемо проверена, если наличие в цепи дифференциального тока, равного $I_{\Delta n}$, вызывает срабатывание защиты, является вполне оправданным. Временные показатели срабатывания УЗО, соответствующие значению дифференциального тока $I_{\Delta n}$ и кратным ему величинам, не должны превышать приведенные в табл. 5. На практике значения времени срабатывания УЗО обычно ниже нормируемых. Принципиально способ проверки срабатывания УЗО под воздействием дифференциального тока при проведении ревизии не отличается от метода квалификационных испытаний в испытательном центре.

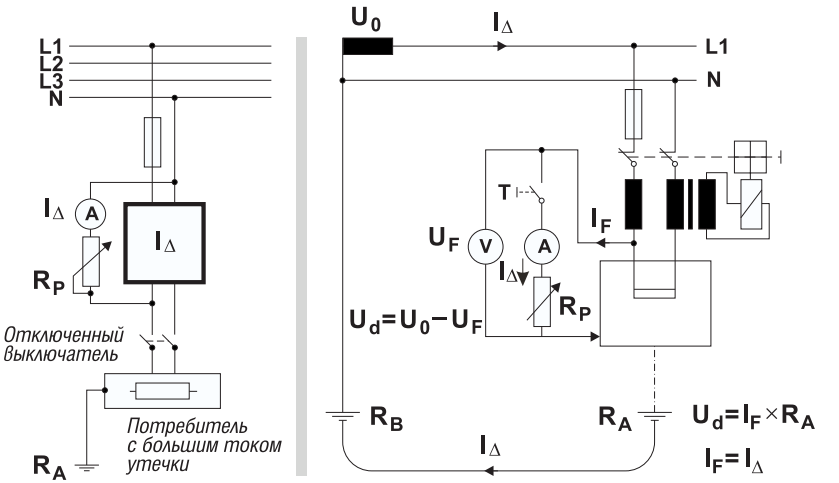
На рис. 29 представлены принципиальные схемы измерения минимального отключающего дифференциального тока УЗО, а на рис. 30 – зависимости постепенного нарастания значения дифференциального тока от времени в процессе определения значения минимального отключающего дифференциального тока УЗО.

При измерении отключающего дифференциального тока не следует забывать, что УЗО может срабатывать при значении I_{Δ}, превышающем 0,5 $I_{\Delta n}$, и должно обязательно сработать при $I_{\Delta} = I_{\Delta n}$.

При использовании доступных приобретению измерительных приборов для ревизионных проверок результаты измерений могут отличаться от полученных согласно требованиям к квалификационным испытаниям в испытательном центре, что объясняется различиями в условиях проведения указанных испытаний (разная скорость нарастания тока и т. п.). Учитывая, что за достоверность измерений отвечает изготовитель измерительных приборов, в процессе ревизии необходимо работать согласно инструкциям, прилагаемым к этим приборам.

11.2. Измерение времени отключения УЗО

Измерение времени отключения УЗО, как уже было отмечено ранее, осуществляется при протекании через него определенных значений дифференциального тока – $I_{\Delta n}$, $2I_{\Delta n}$, $5I_{\Delta n}$. В соответствии со стандартом МЭК 60 364-6-61 время отключения при ревизии может быть измерено согласно указаниям, приведенным в стандарте МЭК 61008. На рис. 31 показаны



а) с отключением потребителя б) без отключения потребителя

U_d – напряжение прикосновения

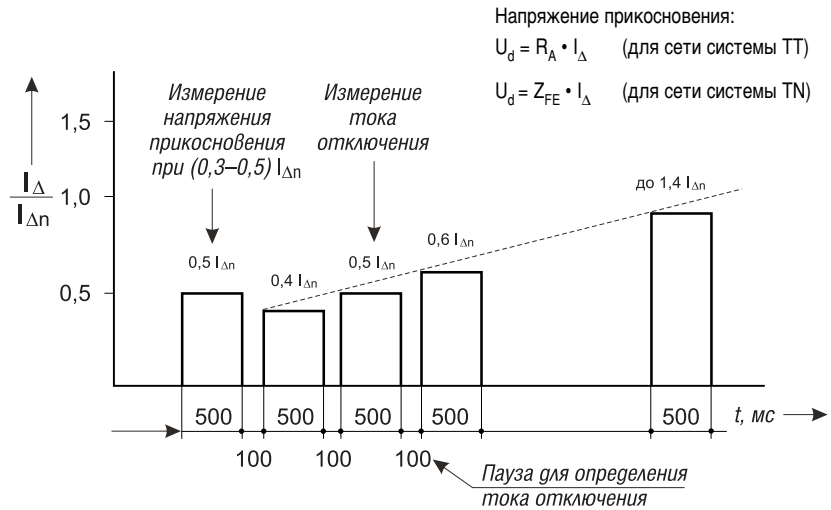
U_0 – фазное напряжение сети

U_F – напряжение между фазой и корпусом в месте искусственного повреждения

I_F – ток искусственного повреждения

Риц. 29 Принципиальные схемы измерения минимального отключающего дифференциального тока УЗО

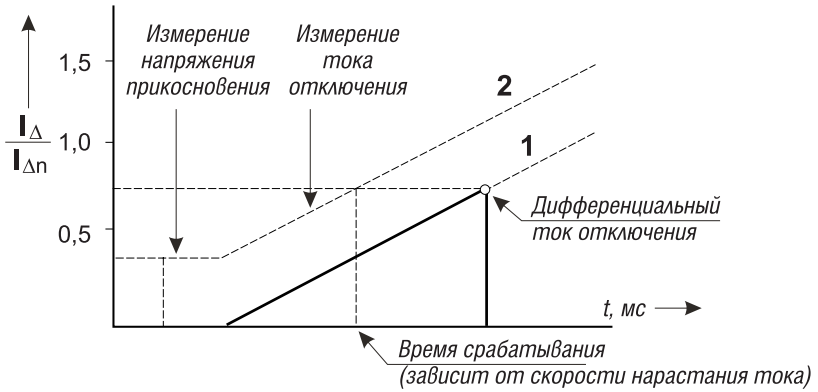
а) ступенчатое нарастание эффективного значения дифференциального тока



б) плавное нарастание эффективного значения дифференциального тока

1) Постепенное нарастание от нулевого значения (более старые приборы)

2) Постепенное нарастание с измерением напряжения прикосновения (более новые приборы – Profitest 0100S, Unilap 100 XE, Megger CM 300, ...)



Риц. 30 Зависимости нарастания значения тока от времени пти определении минимального отключающего дифференциального тока УЗО

обычно получаемые значения времени отключения УЗО разных типов при испытании дифференциальным током, равным $I_{\Delta n}$. Измерения времени отключения УЗО при ревизиях не обязательно.

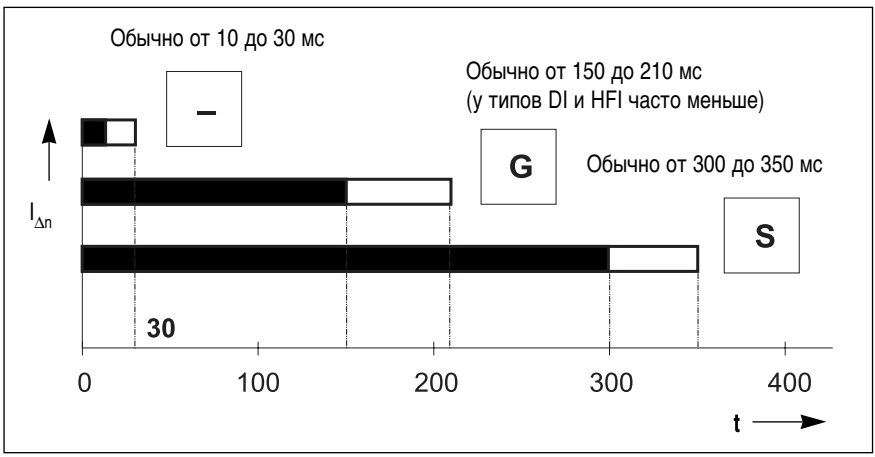
11.3. Определение напряжения прикосновения [1)]

Величина напряжения прикосновения определяется измерением или расчетом. Допускается также использование сигнализации о превышении значения допустимого напряжения прикосновения.

При расчете напряжения прикосновения в сетях системы TT можно исходить из значения сопротивления заземляющего устройства с учетом сопротивлений заземляющего проводника и переходных сопротивлений соединений $R_A = U_L/I_{\Delta n}$. Если расчет производится в сети системы TN, то напряжение прикосновения определяется исходя из значения полного сопротивления цепи „фаза–нуль“ $Z_S = U_0/I_{\Delta n}$. Такой способ должен использоваться при применении УЗО с невысокой чувствительностью ($I_{\Delta n}$ = 1 A и выше), когда обычно используемые приборы не пригодны для измерений.

Примечание редактора.

1) В соответствии с отечественными „Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей“ измерение напряжений прикосновения и шага в искусственно созданном аварийном режиме производится не реже 1 раза за 12 лет в животноводческих комплексах, банях с электронагревателями и на других объектах, где в целях предотвращения электротравматизма в полу должны быть специальные устройства выравнивания потенциалов. Кроме того, это измерение должно быть выполнено не реже 1 раза в год в случае невозможности проверки отсутствия повреждения выравнивающих проводников, устройств выравнивания электрических потенциалов. В объектах, где выравнивание электрического потенциала не осуществляется, измерение напряжения прикосновения и шага в процессе ремонтных работ и профилактических испытаний не производится.



Риц. 31 Обычные значения времени отключения УЗО при испытании дифференциальным током, равным $I_{\Delta n}$

Напряжение прикосновения в сети системы TN на открытых проводящих частях является небольшим и определяется падением напряжения на полном сопротивлении защитного проводника. В связи с тем, что измерение производится при малых величинах тока (от десяти до нескольких сотен мА), значения напряжения прикосновения, приведенные к величине $I_{\Delta n}$, также очень малы (доли вольта). Реальные значения напряжения прикосновения при повреждении значительно выше, так как токи повреждения существенно превышают значения $I_{\Delta n}$. Это напряжение сохраняется до срабатывания УЗО.

11.4. Измерение полного сопротивления цепи замыкания [1)]

Полное сопротивление цепи замыкания в сети системы TN определяет эффективность защиты при использовании предохранителей или автоматических выключателей. В случае использования УЗО проблема быстродействия защиты решается этим устройством, и полное сопротивление цепи замыкания уже не является главным критерием электробезопасности. Функционирование УЗО обеспечивается только целостностью защитного проводника, которая проверяется при измерении напряжения прикосновения или измерением сопротивления защитного проводника.

Измерения полного сопротивления цепи замыкания за УЗО производятся относительно редко, например, в случаях, когда требуется уверенность в срабатывании защиты от сверхтока при отказе УЗО. В большинстве случаев конечной точкой для измерения полного сопротивления цепи замыкания являются зажимы группового щитка или входные зажимы УЗО.

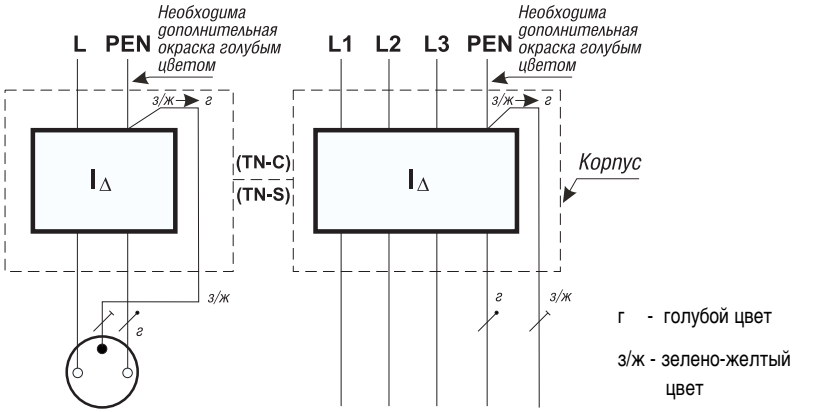
Примечание редактора.

1) В соответствии с действующими в настоящее время отечественными „Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей“ измерение полного сопротивления петли „фаза–нуль“ с последующим определением тока однофазного короткого замыкания выполняется не реже 1 раза за шесть лет для проверки срабатывания защиты в случае, если эта проверка не выполняется непосредственным измерением тока однофазного короткого замыкания на корпус и металлические конструкции с помощью специальных приборов.

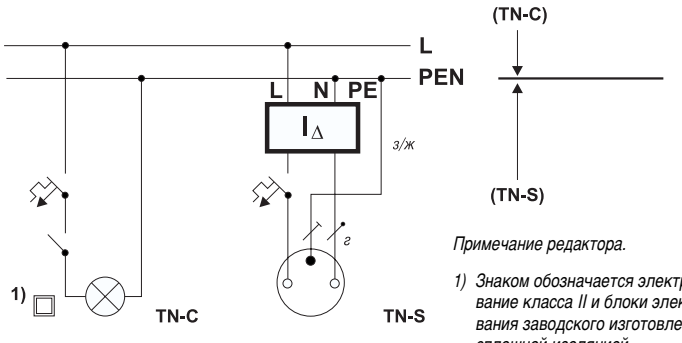
12. ПРИМЕНЕНИЕ УЗО В СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОПРОВОДКАХ

В качестве примера использования УЗО в существующей электропроводке рассмотрим реконструкцию сети штепсельных розеток (система TN-C). В этом случае следует произвести разделение проводника PEN на проводники PE и N до УЗО с размещением последнего в корпусе вблизи розетки или в существующем распределительном щите (рис. 32). Для различия цветных обозначений проводников PEN и PE требуется выполнить дополнительную окраску проводника PEN голубым цветом.

а – УЗО, размещенное в корпусе вблизи штепсельной розетки



б – УЗО, размещенное в распределительном щите



Примечание редактора.

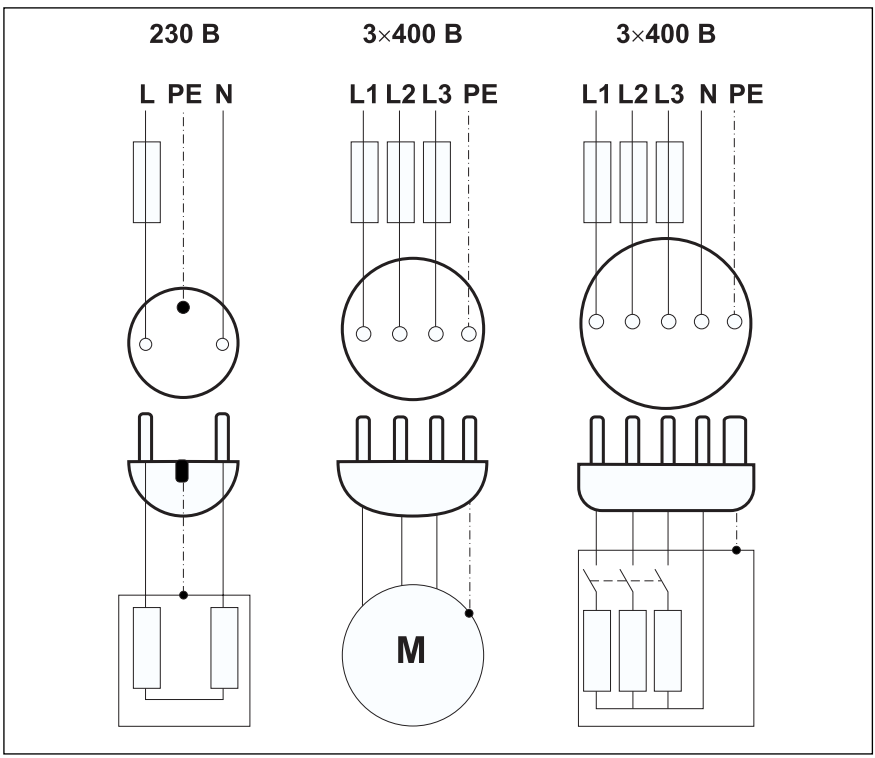
1) Знаком обозначается электрооборудование класса II и блоки электрооборудования заводского изготовления со сплошной изоляцией

Риц. 32 Использование УЗО при реконструкции существующей сети штепсельных розеток с одновременным переводом сети системы TN-C в систему TN-C-S

На рис. 33 показаны штепсельные розетки с соответствующими вилками в электропроводках с разным количеством проводов.

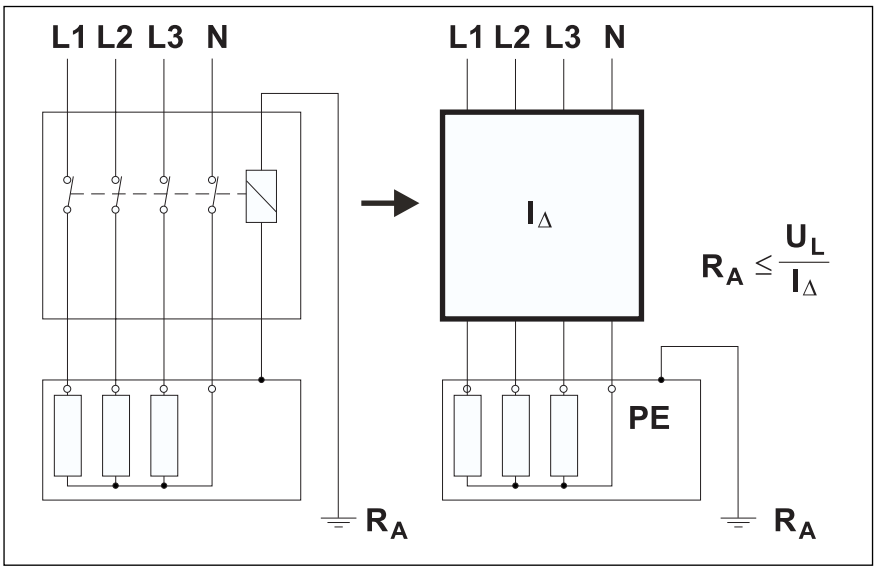
12.1. Замена УЗО, реагирующих на напряжение по отношению к земле, на УЗО, управляемые дифференциальным током

УЗО, реагирующее на величину напряжения по отношению к земле (тип FU), можно легко заменить на УЗО, управляемые дифференциальным током. При этом УЗО, управляемые дифференциальным током, монтируются вместо УЗО типа FU, а защитный проводник согласно рис. 34 подключается непосредственно к вспомогательному заземлителю, ранее используемому для обеспечения функционирования защиты с УЗО типа FU.



Риц. 33 Штепсельные розетки и соответствующие им вилки в трех, четырех и пяти проводных сетях.

УЗО, управляемые дифференциальным током, обладают существенно лучшими техническими свойствами и повышенной устойчивостью к ложным отключениям, обеспечивая тем самым более высокую надежность электроснабжения. В большинстве стран использование УЗО типа FU на некоторых объектах, например, стройках, не допускается.



Риц. 34 Замена УЗО тупа FU на УЗО, управляемое дифференциальным током

13. НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫЕ СРАБАТЫВАНИЯ УЗО

Отключения УЗО вследствие повреждения цепи называются защитными отключениями. Если происходит отключение по другой причине, то имеет место нежелательное срабатывание УЗО. Нежелательные срабатывания УЗО, как правило, можно отнести к одной из двух групп:

– срабатывания, вызванные защищаемой цепью (соединение проводов PE и N, большое количество электропотребителей и т. д.);
– срабатывания, вызванные внешним электрическим влиянием, например, перенапряжениями в сети.

13.1. Нежелательные срабатывания УЗО, вызванные ошибкой в соединении

При монтаже вследствие неквалифицированных действий или халатности имеют место ошибки, которые являются причиной кажущихся необъяснимыми срабатываний УЗО. Ниже рассмотрены наиболее характерные ошибки:

1. Недопустимое соединение проводников PE и N за УЗО (рис. 35, 36, 37)

При таком соединении не выполняется одно из основных условий защиты в сети системы TN. Нежелательные отключения происходят из-за протекания по проводнику PE части рабочего тока.

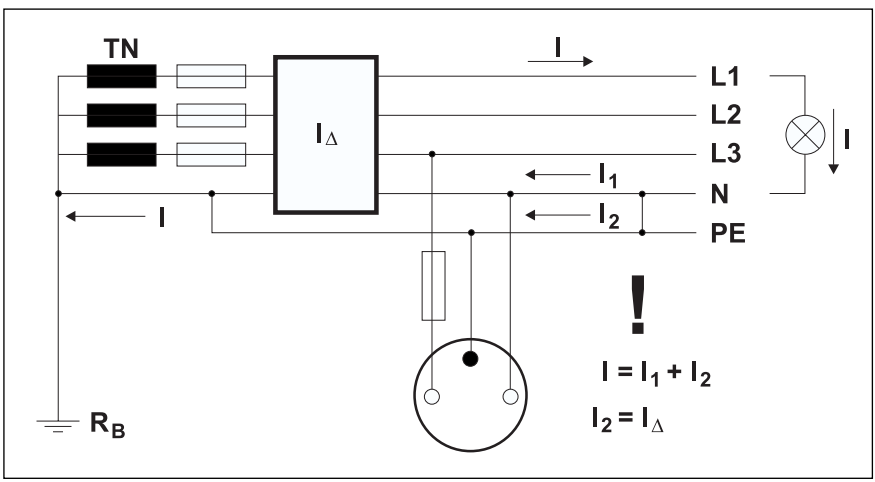


Рис. 35 Недопустимые соединения проводников PE и N за УЗО

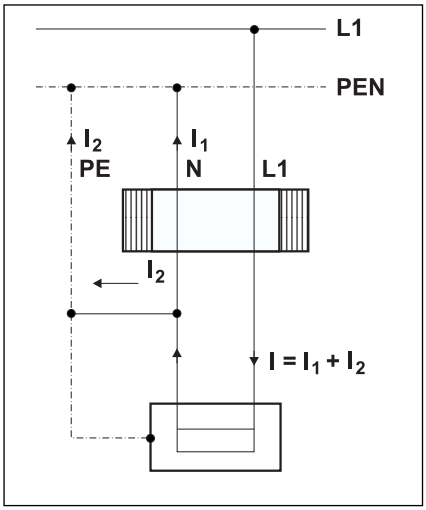


Рис. 36 Отключение УЗО при соединении проводников PE и N (потребитель за УЗО)

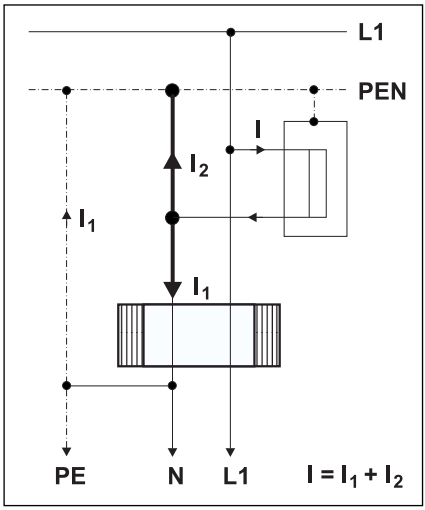


Рис. 37 Отключение УЗО при соединении проводников PE и N (потребитель перед УЗО, потребитель за УЗО отключен)

2. **Неправильное соединение проводников N при параллельном соединении двух УЗО** (рис. 38)

При соединении, приведенном на рис. 38 а, ситуация аналогична изображенной на рис. 35.

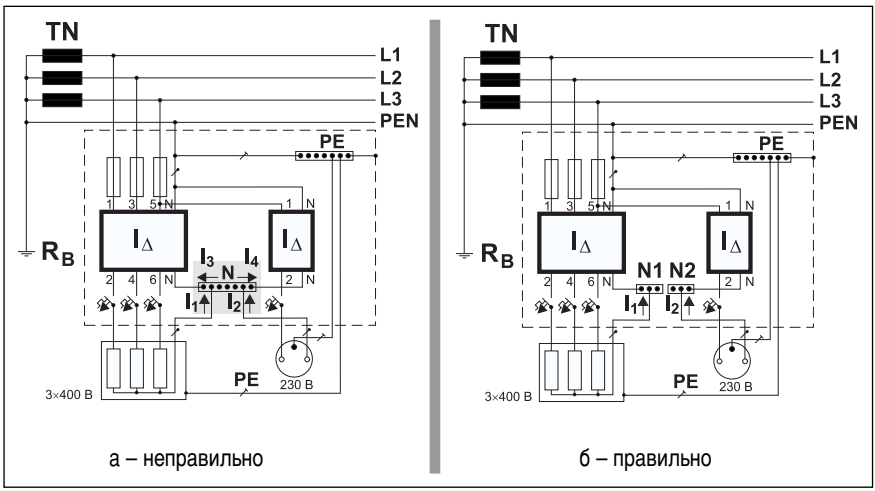


Рис. 38 Параллельное соединение УЗО

3. Недопустимые подключения УЗО в сети TN-C. [1)]

Ошибки в соединениях в схеме на рис. 39:

– через окно трансформатора тока УЗО не должен проходить защитный проводник;
– двухпроводная L, PEN проводка недопустима;
– рабочий ток не должен уходить в землю.

4. Ошибочная замена входного зажима УЗО на выходной при подключении рабочего проводника.

13.2 Нежелательные срабатывания УЗО, вызванные внешними воздействиями

Основной причиной нежелательных (ложных) отключений являются перенапряжения, возникающие, главным образом, под влиянием атмосферных разрядов и коммутаций в сети. Перенапряжения носят импульсный характер и имеют крутизну нарастания напряжения,

Примечания редактора

1) См. примечание к главе 5.3.

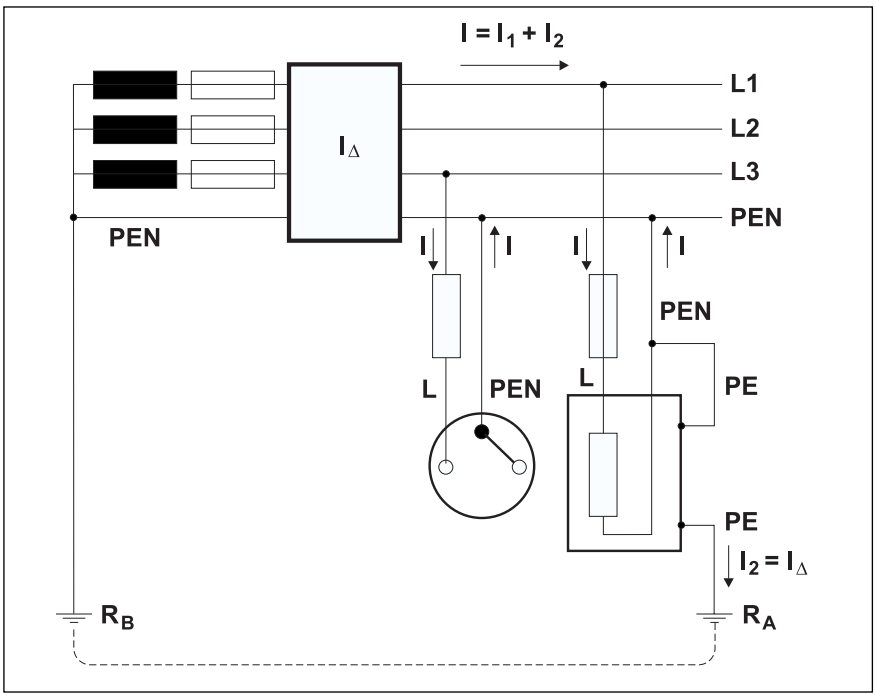


Рис. 39 Недопустимые подключения УЗО в сети TN-C

находящуюся в пределах 1...10 кВ/мкс. При этом в цепи распространяется волна тока, наличие которой может быть воспринята УЗО как повреждение:

– в процессе зарядки емкости CPE относительно земли (корпуса);
– при перекрытии или пробое изоляции;
– при протекании после перекрытия (пробоя) изоляции рабочего тока промышленной частоты до момента перехода тока через нуль (для частоты 50 Гц – полупериод T/2 = 10 мс).

Ударные волны, возникающие в результате грозовых разрядов, обобщенно могут быть представлены импульсом нормализованной формы 8/20 мкс (рис. 40). Максимальные значения тока ударной волны в месте установки УЗО в основном ниже величины I_p = 500 А.

В Австрии и Германии опытным путем установлено, что в районах с большим числом грозовых дней в году ложные отключения УЗО наблюдаются чаще, чем в районах с малым и средним числом грозовых дней. Известно также, что при установке УЗО на воздушных линиях частота ложных отключений в 5 раз выше, чем при установке на кабельных линиях,

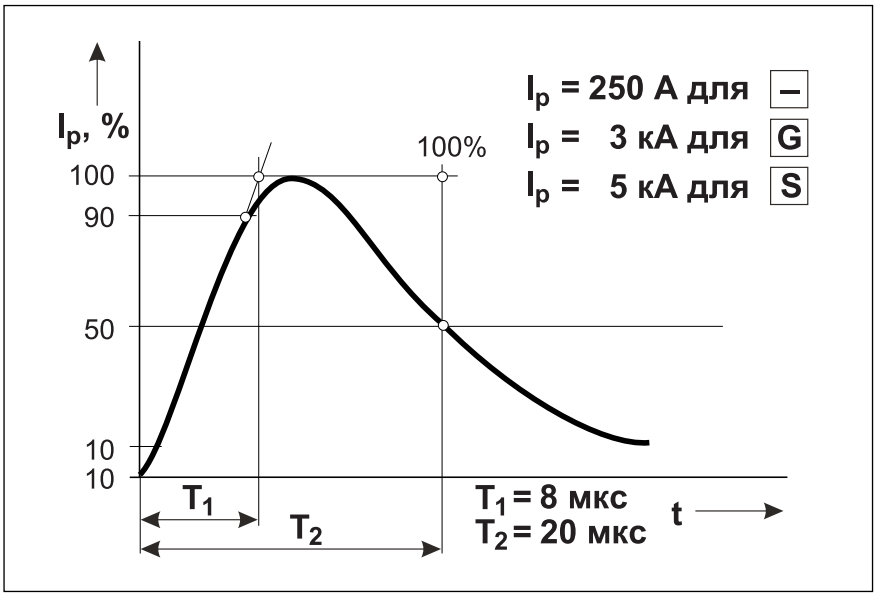


Рис. 40 Нормализованная форма ударной волны тока 8/20 мкс [1)]

Примечание редактора.

1) На рис. 40 представлена форма импульсного (ударного) тока с длительностью фронта импульса 8 мкс и длительностью импульса 20 мкс, используемая согласно немецким стандартам VDE для испытаний электрооборудования, в частности, некоторых типов разрядников. В отечественной практике подобная форма импульса используется в процессе испытаний разрядников при измерении оставшегося напряжения.
Требования к испытаниям УЗО на стойкость при импульсном напряжении в международных стандартах в настоящее время отсутствуют и находятся в стадии рассмотрения.

проложенных в земле (при грозах на воздушных линиях происходит около 20% всех ложных отключений, что составляет в среднем 5 отключений в год, тогда как на кабельных линиях – примерно 1 отключение в год). Анализ позволяет сделать еще один интересный вывод – в сетях системы TT ложные отключения происходят в два раза чаще, чем в сетях системы TN.

Приведенные выше данные относятся к УЗО без задержки срабатывания (для общего применения). Ситуация заметно улучшается в случае использования УЗО с задержкой срабатывания (типы G и S). В электропроводках, где были использованы УЗО типов G и S почти исчезли ложные отключения как в кабельных, так и в воздушных сетях систем TN и TT. УЗО типа G с задержкой 10 мс специально разработано для ограничения числа ложных отключений при грозах (G – первая буква немецкого слова “Gewitter”, что в русском переводе означает “гроза”). При этом УЗО указанного типа удовлетворяют требования к защите как от косвенного, так и от прямого прикосновения (см. табл. 5).

При включении потребителей с большими емкостями по отношению к земле (корпусу) C_{PE} в цепи происходит переходный процесс, что вызывает появление тока I_F, протекающего в землю или защитный проводник (рис. 41). Кроме того, значительный по величине ток I_F зачастую возникает при коммутациях протяженных кабельных линий и оборудования с высокочастотными помехоподавляющими конденсаторами, например, тиристорных сварочных аппаратов.

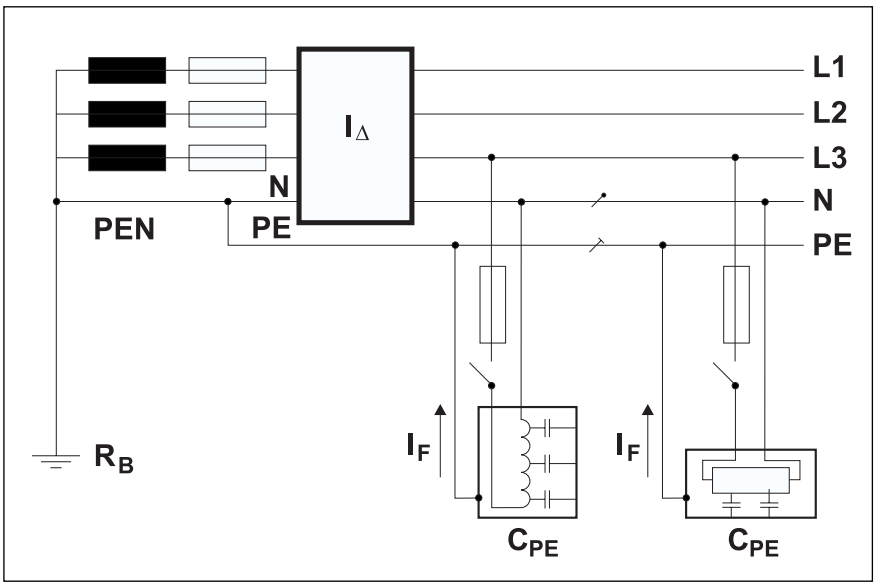


Рис. 41 Возникновение токов утечки через емкость C_{PE} при коммутациях

В ряде случаев отключение УЗО (см. рис. 42) вызывает срабатывание устройств защиты от перенапряжений, устанавливаемых вблизи электропотребителей (третья ступень защиты – разрядники класса D[1)]).

Эти разрядники, как правило, являются переносными и подключаются к штепсельным розеткам при помощи вилки. Чувствительность разрядников класса D настолько высокая, что они реагируют на перенапряжения в несколько десятков вольт. Если в сети возникают несколько импульсов перенапряжений, следующих друг за другом с небольшими промежутками времени, то вероятность ложного отключения УЗО значительна.

Вследствие ложных срабатываний УЗО происходят отключения электропотребителей, что влечет за собой существенные убытки. В связи с отсутствием прямой информации о масштабах ущерба, вызванного ложными срабатываниями исправных УЗО, можно воспользоваться доступными результатами исследований страховых компаний Германии. В соответствии с данными этих компаний рассматриваемые убытки составили в 1984-1986 годах 5,5% всего ущерба, который имел место вследствие атмосферных перенапряжений (из них на жилые здания приходится 4,5%, сельское хозяйство – 0,8%, промышленность – 0,2%). В эти убытки включены потери от испортившихся пищевых продуктов, гибели птиц на крупных фермах и т. д. Приведенные цифры являются очень высокими, а в финансовом выражении речь идет о миллионных суммах.

Большую часть ложных срабатываний УЗО по указанным выше причинам можно исключить, как уже отмечалось ранее, используя УЗО с задержкой срабатывания 10 мс, то есть типа G, или селективных УЗО. Если в защищаемой цепи имеется длительный ток утечки (см. главу 10.2), то следует либо установить УЗО с большим значением номинального дифференциального тока, либо уменьшить число подключаемых электроприемников.

Примечание редактора.

1) Здесь имеются в виду классы разрядников согласно немецким стандартам VDE (4 класса – A, B, C, D). Разрядники класса D предназначены для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений переносных бытовых электропотребителей и электрооборудования с электронными схемами. Разрядники класса C (рис. 42) используются для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений стационарного электрооборудования: автоматических выключателей, УЗО, контакторов, магнитных пускателей, штепсельных розеток и т. д.

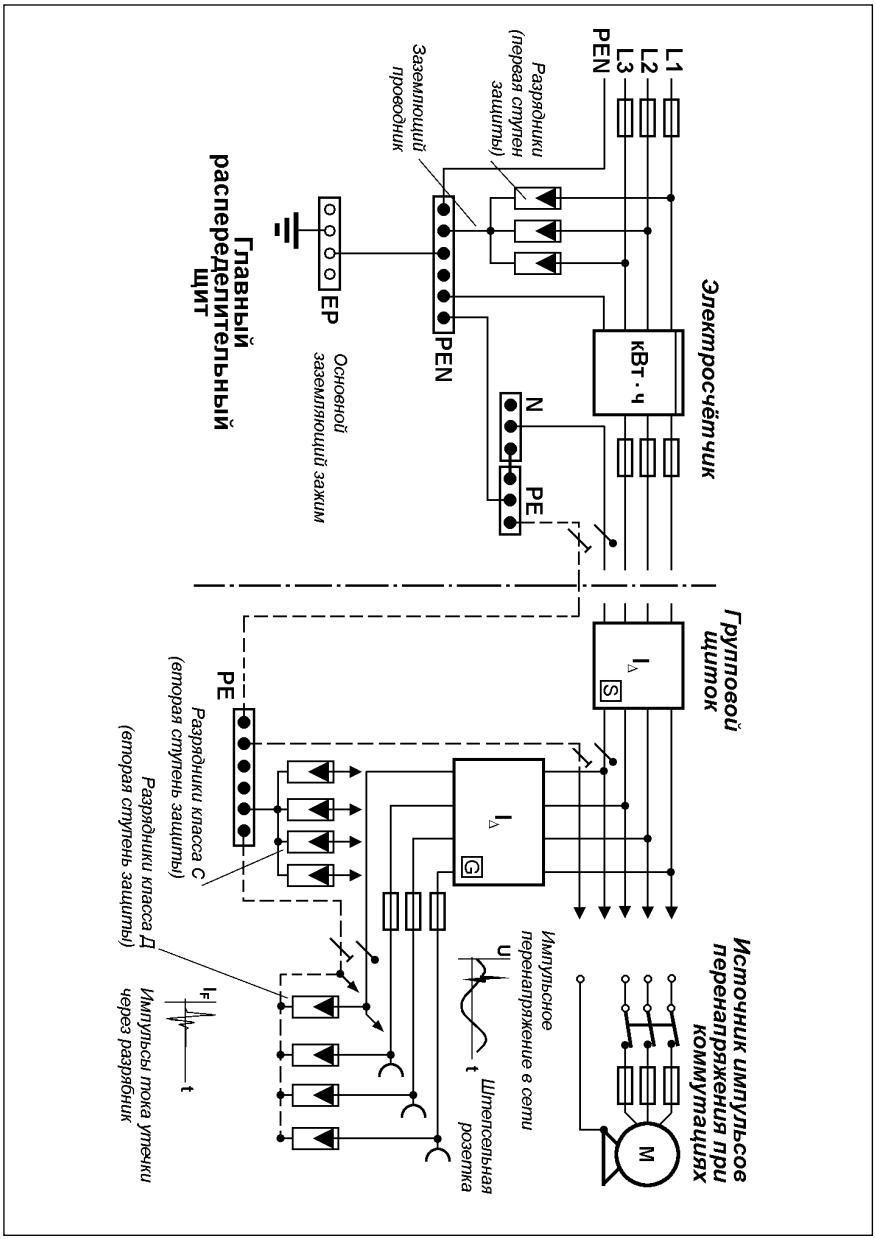


Рис. 42 Возникновение ложных отключений УЗО в электропроводке с устройствами защиты от перенапряжений.

14. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЗО В РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТАХ

14.1. Жилые здания и объекты гражданского назначения

Для повышения уровня электробезопасности в жилых зданиях, коттеджах и общественных помещениях жилых домов (прачечные, мастерские и т. п.) рекомендуется для защиты цепей штепсельных розеток и оборудования использовать УЗО. Кроме того, в новых и реконструируемых объектах проводник PEN должен быть разделен на проводники PE и N, причем точка разделения должна находиться в групповом (квартирном) щитке.

Если в бытовой электропроводке имеются однофазные и трехфазные цепи штепсельных розеток, то уместно защищать трехфазные цепи при помощи четырехполюсных УЗО, а однофазные – при помощи чувствительных двухполюсных УЗО. Приведенные рекомендации относятся и к общественным зданиям, например, объектам коммунальных услуг, школам, административным зданиям и т. д. При этом рекомендуется для обеспечения высокой устойчивости к ложным срабатываниям использовать УЗО типа G. Пример схемы защиты с таким УЗО приведен на рис. 43.

Правила выполнения электропроводки в учреждениях здравоохранения регламентируются отдельным стандартом МЭК 60 364-7-710 (см. главу 14.8).

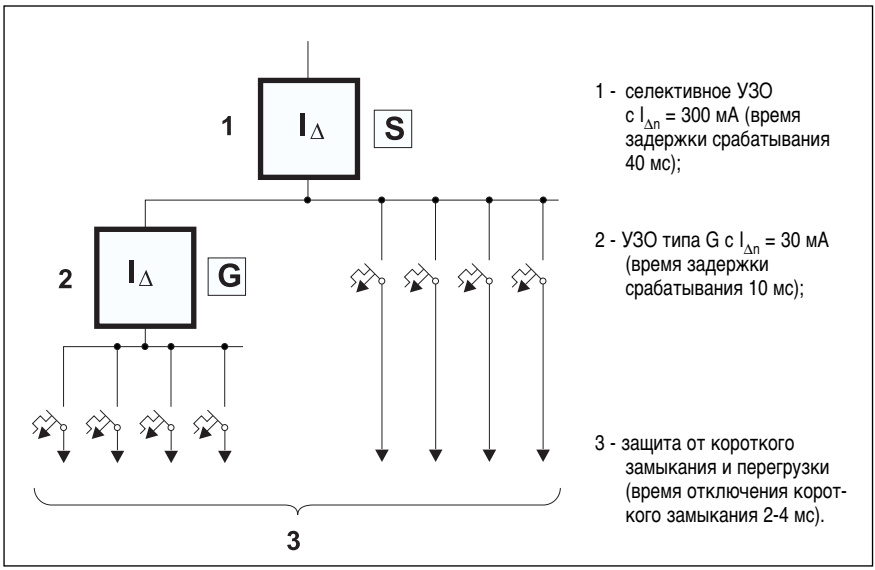


Рис. 43 Схема электропроводки с УЗО с высокой устойчивостью к ложным срабатываниям

14.2. Ванные и душевые помещения

УЗО с $I_{\Delta n} \leq 30$ мА[1] требуются для всех цепей штепсельных розеток в ванных помещениях[2]. При этом остаются в силе требования к уравниванию потенциалов. Если система труб в помещении выполнена из пластика, то УЗО считается достаточной мерой защиты, а необходимость реализации дополнительного соединения водопроводной арматуры отсутствует.

Подробно требования к обеспечению электробезопасности рассмотрены в специальном стандарте МЭК 60 364-7-701, где эти помещения разбиты на зоны, для каждой из которых предъявлены конкретные требования по выполнению электропроводки и защитных мероприятий[3].

14.3. Бассейны

Требования к обеспечению электробезопасности в бассейнах для плавания и фонтанах представлены в стандарте МЭК 60 364-7-702. Этот стандарт строго регламентирует место установки электрооборудования и защитных устройств. При этом альтернативой использованию УЗО является применение оборудования класса II или оборудования, подключенного через разделяющий трансформатор. Определенные смягчения требований допускаются только для бассейнов небольших размеров.

14.4. Строительные площадки

Строительные площадки характеризуются значительным числом несчастных случаев, вызванных поражением электрическим током. Такое положение объясняется тем, что электропроводки, применяемые на строительных площадках, являются временными, а эксплуатация электрооборудования ведется в тяжелых, с точки зрения обеспечения электробезопасности, условиях.

При этом большинство машин, приборов и ручной инструмент используются в наружной среде, не защищенной от дождя, а обслуживающий персонал, как правило, не проходит соответствующей специальной подготовки. Применение переносных кабелей (проводов), проложенных непосредственно на земле, обуславливает высокую степень вероятности механического нарушения целостности защитного проводника.

Примечания редактора.

1) Для сантехкабин, ванных и душевых действующие в настоящее время отечественные „Временные указания по применению УЗО в электроустановках жилых зданий" рекомендуют устанавливать УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током до 10 А, если для этих помещений выделена отдельная линия.

2) Альтернативой использования УЗО для защиты цепей штепсельных розеток в ванных и душевых помещениях является согласно стандарту МЭК 60 364-7-701 питание этих цепей от индивидуального разделяющего трансформатора либо от источника системы БСНН (ЗСНН).

3) В стандарте МЭК 60 364-7-701 ванные и душевые помещения разделены на четыре зоны (0, 1, 2, 3) с указанием их размеров. Штепсельные розетки могут быть установлены только в зоне, наиболее удаленной от ванны или душевого поддона (зона 3) при условии использования одной из указанных в п. 2 примечаний защитных мер.

Вследствие нарушения целостности защитного проводника гибкого кабеля (провода) возникает реальная угроза жизни людей, которые могут прикоснуться к открытой проводящей части оборудования, питаемого поврежденным кабелем (проводом).

В соответствии с требованиями международных стандартов МЭК 60 364-7-704 и МЭК 439-4 УЗО с $I_{\Delta n} \leq 30$ мА на строительных площадках должны быть установлены в каждом распределительном щите для защиты цепей штепсельных розеток. Такие чувствительные УЗО защищают штепсельные розетки, ручной электроинструмент, который подключается к ним, а также переносные кабели (провода), подключаемые к распределительному щиту.

14.5. Сельскохозяйственные объекты

Опасность несчастных случаев, вызванных электрическим током, в объектах сельского хозяйства чрезвычайно высока. Причиной этого, с одной стороны, являются тяжелые условия эксплуатации электрооборудования (влажность, агрессивная среда, легко воспламеняющиеся вещества в непосредственной близости от электропроводки и оборудования), а с другой стороны, неквалифицированное обслуживание и халатное отношение к соблюдению правил электробезопасности.

В сельскохозяйственных объектах по перечисленным выше причинам для повышения уровня защиты людей и имущества необходимо использовать УЗО в следующих случаях:

– в цепях штепсельных розеток в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, в ремонтных и механических мастерских, а также согласно стандарту МЭК 60 364-4-47 в цепях штепсельных розеток наружной установки (УЗО с $I_{\Delta n} \leq 30$ мА);
– в цепях со стационарно установленным оборудованием, в помещениях с легковоспламеняющимися веществами или горючей пылью (УЗО с $I_{\Delta n} \leq 500$ мА, рекомендуется с $I_{\Delta n} \leq 300$ мА).

Защита сельскохозяйственных животных обеспечивается при помощи комбинации автоматического отключения и дополнительной системы уравнивания потенциалов. В связи с тем, что животные очень чувствительны к электрическому току, наибольшая допустимая величина напряжения прикосновения и шага для животных ограничена значением 25 В[1)]. Следует отметить, что дополнительная система уравнивания потенциалов в животноводческих помещениях часто находится в плохом состоянии и установка УЗО в начале цепи позволяет свести риск несчастного случая к минимуму. Для оценки воздействия электрического тока на домашних животных следует использовать документ Report IEC 479-3 “Воздействие электрического тока на домашних животных”.

C#ЛЮЊ÷ЏТЛЊ #ЊКЏ#Ћ##Џ.

1) ≈#ЊЗ##ЏТЛ# #ЋЊь÷ЊfЋ#ЊЬТТхќ Т##ЮЏЋЛ#Тхќ К##ЧЮЬТЋ##, #ЏfЏ#уЛќf# щ#Њь#Ћ##ЗЊ##УЏfТ#fЋЛ # #ЗЬЊь#ЋЏќ fЊь#Яf#### ќ###ОfЋ#Џ, #Ћ#Л÷Џ#Ћf# #Ћ У#Л#ЊКЊЬТТхќ # fЋЏТКЏ#ЋЏќ Эшє.

14.6. Промышленные объекты

Качество электропроводки в помещениях промышленных предприятий несколько отличается от ее качества в других зданиях, так как на промышленных объектах предполагается наличие постоянного контроля, осуществляемого квалифицированным персоналом, и относительно коротких сроков периодических испытаний.

Для обеспечения безопасности обычно разрабатываются эксплуатационно-технические требования, регламентирующие правила эксплуатации с учетом местных условий. Эти требования позволяют также обеспечить более частый и, главное, доказательный контроль состояния защитных мер электробезопасности и, в частности, регулярную проверку эффективности функционирования УЗО.

В промышленных электропроводках УЗО используются главным образом для защиты цепей штепсельных розеток, к которым подключается ручной электрический инструмент (дрели, шлифовальные круги, красящие пистолеты и т. п.). На больших предприятиях УЗО устанавливаются в административных помещениях, покрасочных, ремонтных цехах и других производственных помещениях. Для стационарно установленных машин и оборудования использование УЗО (если нормативные документы не требуют применения другого способа защиты) в опасных с точки зрения электробезопасности помещениях является одним из возможных путей решения задачи обеспечения времени отключения, не превышающего значения 0,2 с (стандарт МЭК 60 364-4-481).

Электрические схемы промышленных предприятий отличаются относительно небольшими значениями полного сопротивления цепей и, следовательно, высокими значениями токов короткого замыкания. Поэтому в случае использования УЗО необходимо обеспечить необходимые параметры добавочных предохранителей (автоматических выключателей) в соответствии с требованиями изготовителей УЗО.

14.7. Мобильные помещения

Электрооборудование в мобильных помещениях (мастерские, ремонтные и жилые помещения, медицинские и измерительные лаборатории и т. п.) должно быть оснащено собственной защитой открытых проводящих частей, не зависящей от исполнения и состояния защиты сети питания. Выполнение этой задачи в цепях, использующих заземление, возлагается практически всегда на УЗО (рис. 44)1).

Защита с УЗО, управляемыми дифференциальным током, обеспечивая электробезопасность при повреждении изоляции электроприборов, находящихся в мобильном помещении, не нуждается в изоляции этих электроприборов от земли, как это требуется в случае использования УЗО, реагирующих на величину напряжения по отношению к земле.

Примечание редактора.

1) Согласно отечественным нормативным документам во вводно-распределительных устройствах мобильных зданий должны устанавливаться УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не выше 30 мА. Проверка этих УЗО должна выполняться ежемесячно.

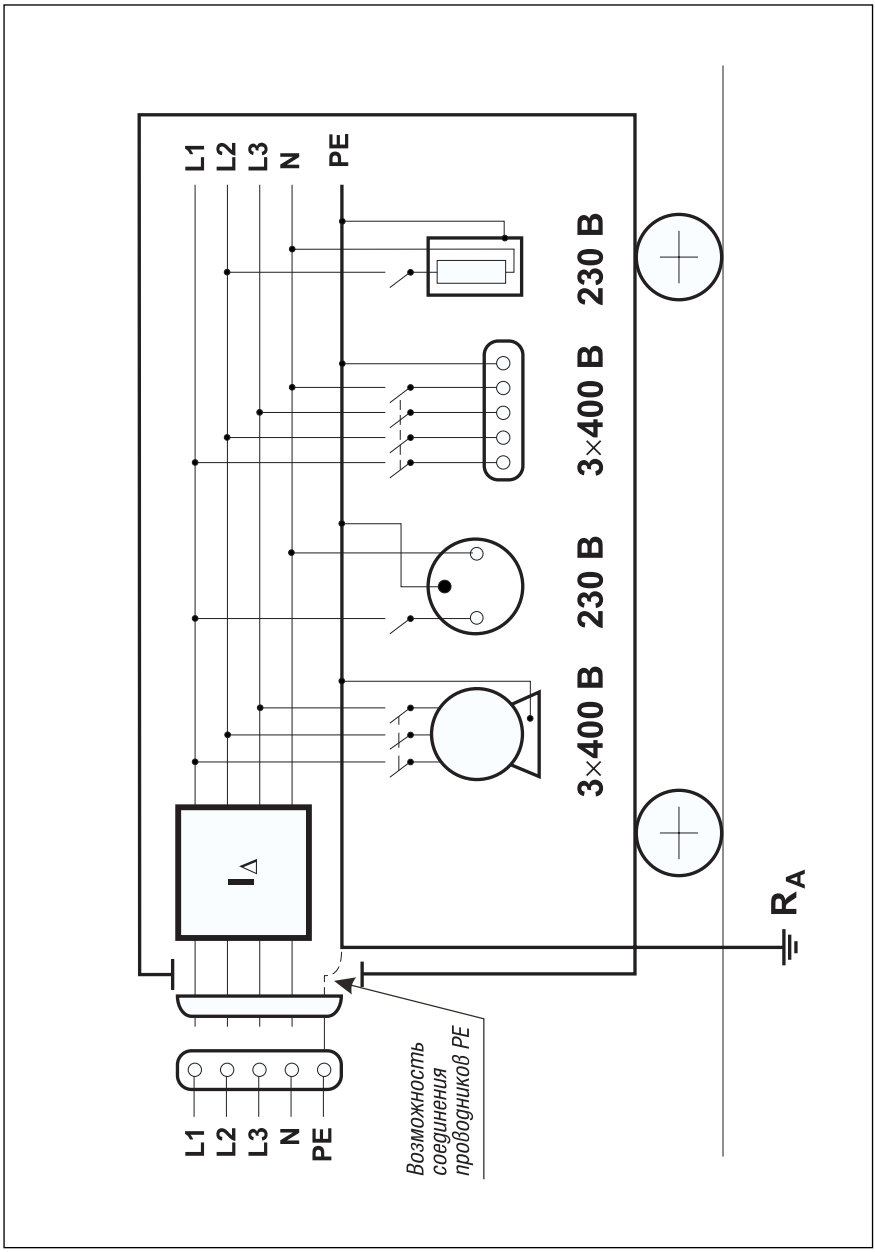


Рис. 44 Мобильные помещения с питанием от наружного источника

14.8. Учреждения здравоохранения

В соответствии со стандартом МЭК 60 364-7-710, содержащим правила выполнения электропроводки в медицинских учреждениях, в этих учреждениях требуется использование сети системы TN-S, то есть разделение проводника PEN на PE и N. Кроме того, указанный стандарт определяет область использования УЗО в медицинских учреждениях. Из его требований следует, что должны применяться УЗО с $I_{\Delta n} \leq 30$ мА. При этом возможно использование УЗО с $II_{\Delta n} \leq 300$ мА (кроме цепей штепсельных розеток), если токовая нагрузка электропотребителей выше номинального тока производимых УЗО с высокой чувствительностью. Число потребителей, входящих в защищаемую УЗО цепь, должно быть как можно меньшим. В рассматриваемом стандарте также указано, что контроль нормального функционирования УЗО следует производить при помощи контрольной кнопки 1 раз в 3 месяца. Учитывая, что некоторые помещения отключить с целью проверки даже на короткий промежуток времени практически невозможно (кардиология, отделение интенсивной терапии и т. п.), целесообразна установка в таких помещениях УЗО с повышенной эксплуатационной надежностью типа HFI.

Номенклатура УЗО для здравоохранения была расширена за счет разработки специального типа УЗО для рентгеновских кабинетов (в названии типа этого УЗО имеется дополнительная буква R). Такие УЗО обладают повышенной устойчивостью к ложным отключениям при включении установок для рентгена.

14.9. Временные объекты

Вводимое в эксплуатацию электрооборудование, установленное во временных объектах, подлежит приемо-сдаточным испытаниям. При длительности эксплуатации, превышающей полгода, должны производиться периодические испытания. Обслуживание такого оборудования должен производить только квалифицированный персонал. Использование чувствительных УЗО на временных объектах требуется практически для всех цепей штепсельных розеток.

15. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование УЗО, управляемых дифференциальным током, обеспечивает высокий уровень электробезопасности.Такие УЗО отличаются повышенной эффективностью по сравнению с другими известными устройствами. Поэтому международные электротехннические стандарты уделяют защитным мероприятиям с использованием УЗО все больше внимание.

Приложения

Таблица П-1 Символы, используемые для характеристики УЗО

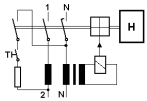
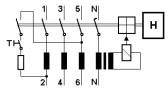
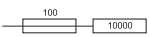
Символ	Описание	Использование
1	2	3
	2-х полюсное УЗО	Для однофазных цепей
	4-х полюсное УЗО	Для 3-х фазных цепей (при 2-х и 3-х полюсном подключении следует обеспечить замкнутый путь току в цепи контроля
	УЗО для переменных дифференциальных токов	Преобладающие большинство цепей, бытовые проводки
	УЗО для переменных и пульсирующих постоянных дифференциальных токов	В цепях с выпрямителями, при наличии постоянной составляющей в крывой тока
	УЗО для переменных, пулсирующих постоянных и сглаженных постоянных дифференциальных токов	Промышленное проводки с выпрямителями, преобразователями и т.д.
	УЗО для общего применения, устойчивое к импульсному току до 250 А (при форме волны 8/20 мкс)	Обычные электропроводки при отсутствии требований к исключению ложных отключений
	Селективное, устойчивое к импульсному току до 5 кА (при форме волны 8/20 мкс)	Для установки в начале электропроводки перед разрядниками с целью обеспечения селективной работы УЗО
	С задержкой времени 10 мкс, устойчивое к импульсному току до до 3 кА (при форме волны 8/20 мкс)	Длявсех применений с высокой устойчибостью к ложным отключениям, подходит так же для использования в качестве дополнительной защиты от прямого прикосновения
	Условно устойчивое к умпульсам до 250 А (при форме волны 8/20 мкс)	Обычные электропроводки
	Для общего применения, условно устойчивое к умпульсам более 250 А например 750 А (при форме волны 8/20 мкс)	Для цепей с существенными бросками тока при коммутациях (кабельные трассы, асинхронные двигатели, группы осветительных приборов с люминесцентными лампами и т.д.)
	УЗО, используемое при температуре дп -25 °С (в соответствующем корпусе)	Гарантированные параметры до определенной температуры окружающей споды, все применения
	Номинальная условная устойчивость к короткому замыканию 10 кА с добавочным предохранителем 100 А	Защита УЗО от коротких замыканий (междуфазных на землю)
	Номинальный ток и номинальное напряжение УЗО при частоте 50 (60) Гц	Выбирается согласно номинальным параметрам (междуфазных, на землю)
	Отключающая способность встроенного защитного выключателя 10 кА, класс селективности 3	Защита электропроводки от перегрузок и коротких замыканий
	Устойчивое к ложным отключениям, которые могут быть вызваны работой электронных стартеров люминесцентных ламп	Максимально 20 люминесцентных ламп

Таблица П-2 Основные неисправности при использовании УЗО

Реакция УЗО	Причина неисправности	Устранение неисправности	Рисунок
Отключение	• неправильное выполнение проводки; • неисправност потребителя; • неисправност УЗО	Проверить электропроводку, измерить сопротивление между пабочими проводниками (включая проводник N) и проводником PE; заменить УЗО	28, 35...38
Ложные отключения	• кратковременные переходные процессы при коммутации потребителей; • большие емкости сети по отношению к земле (токи зарядки); • срабатывание разрядников (ограничителей перенапряжения)	Использовать УЗО типа G или S	41, 42
	• влияние сильного магнитного поля (трансформаторы, контакторы)	Разместить УЗО вне зоны влияния магнитного поля	
При использованой кнопки УЗО не срабатывает ˇO Ф#к'кЫs#кОЫ	• отсутствует напряжение питания; • отсутствует замкнутый путь в цепи контроля 4-х полюцное УЗО в 2-х или 3-х проводной цепи; • неисправность в УЗО	Проверить наличие напряжения; проверить правильность подключения 4-х полюсного УЗО по схеме заменить УЗО	14

Таблица П-3 Символы, наносимые на корпус УЗО с повышенной эксплуатационной надежностью (УЗО типа PHF7)

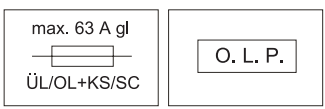
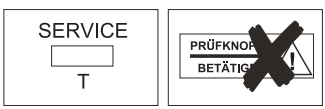
Символ	Описание
	Максимальная токовая защита от короткого замыкания и перегрузки (UL/OL + KS/SC - защита от перегрузки + защита от коротких замыканий; O. L. P. - защита от сверхтока)
	Сервисная кнопка служит для проверки функционирования УЗО только при вводе в эксплуатацию. Регулярный контроль может не производиться, если нормативными документами не установен определенный срок контроля. Однако желательно выполнять контроль при проведении периодических испытаний или 1 раз в год.

Таблица П-4 Обозначения в схемах с УЗО

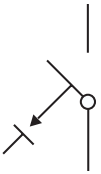
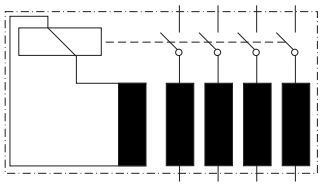
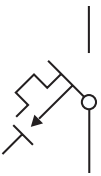
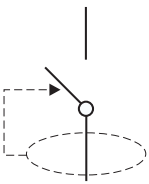
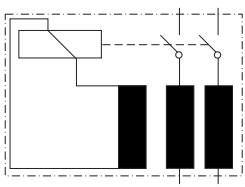
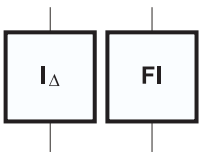
<table>
<tr><td> </td><td>Автоматический выключатель</td><td>Обозначение УЗО в функциональных схемах</td></tr>
<tr><td>  </td><td>УЗО, управляемое дифференциальным током</td><td rowspan="2">4-х полюсное УЗО
  </td></tr>
<tr><td>  </td><td>УЗО со встроенной максимальной токовой защитой</td></tr>
<tr><td>  </td><td>УЗО, управляемое дифференциальным током, согласно британским и французским стандартам</td><td rowspan="2">2-х полюсное УЗО
 
Описание:
$I_{\Delta n}$ = 0,3 A
I_n = 100 A
Тип S</td></tr>
<tr><td>  </td><td>УЗО</td></tr>
</table>

Таблица П-5 Перечень международных электротехнических стандартов, на которые даны ссылки в настоящей книге

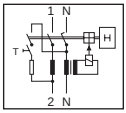
Обозначение стандарта	Название стандарта
МЭК 60 364-4-41	Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током
МЭК 60 364-4-47	Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Требования по применению мер защиты от поражения электрическим током
МЭК 60 364-4-481	Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Выбор защитных мер от влияния внешних факторов. Выбор способа защиты от поражения электрическим током вследствие влияния внешних факторов
МЭК 60 364-5-54	Электроустановки зданий. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства и защитные проводники
МЭК 60 364-6-61	Электроустановки зданий. Ревизия электрического оборудования
МЭК 60 364-7-701	Электроустановки зданий. Требования к специальным электроустановкам. Ванные и душевые помещения
МЭК 60 364-7-702	Электроустановки зданий. Требования к специальным электроустановкам. Плавательные бассейны
МЭК 60 364-7-704	Электроустановки зданий. Требования к специальным электроустановкам. Электрооборудование для строительных площадок
МЭК 60 364-7-705	Электроустановки зданий. Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки сельскохозяйственных и животноводческих помещений
МЭК 60 364-7-710	Электроустановки зданий. Требования к специальным электроустановкам. Электропроводки в учреждениях здравоохранения
МЭК 60439-4	Распределительные устройства с низковольтной аппаратурой и устройствами управления. Специальные требования к распределительным щитам стройплощадок
МЭК 755	Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний
МЭК 60898	Защитные автоматические выключатели для бытового и аналогичного применения
МЭК 61008	Защитные дифференциальные выключатели без встроенной защиты от сверхтоков для бытового и аналогичного применения
МЭК 61009	Защитные дифференциальные выключатели со встроенной защитой от сверхтоков для бытового и аналогичного применения (RCBO)

Каталог

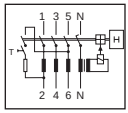
УЗО типа CFI6

- Двойные клеммы (нижная клемма)
- Совместим с автоматическими выключателями CLS6
- Возможность выбора приводных / выводных клемм
- Блок вспомогательных контактов Z-HK, Z-NHK

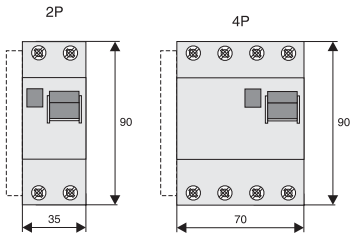
2-х полюсное

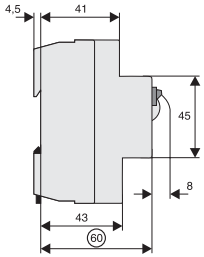


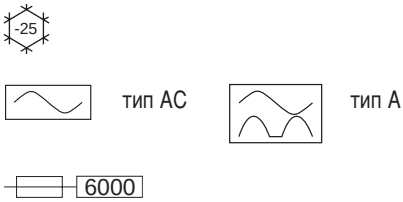
4-х полюсное



CFI6 - размеры







- для общего использования без задержки
- устойчивость к импульсному току до 250 A

..-A • тип A чувствительность к переменному и пульсирующему постоянному дифференциальным токам

УЗО типа CFI6

Технические данные

электрические

Свойства УЗО	**AC** **A**
	чувствительность к переменному току и к пульсирующему постоянному току
Соответствует требованиям	IEC 1008 (EN 61008)
Характеристики отключения	для общего применения (без запаздывания)
Номинальное напряжение	230/400 В, 50/60 Гц
Номин. откючающий дифференц. ток	30, 300 мА
Максимальная токовая защита от короткого замыкания	6 кА с предохранителем 63 A gG
Максимальный предохранитель от перегрузки	25 A gG для УЗО I_n = 25 - 40 A 40 A gG для УЗО I_n = 63 A
Климатическая устойчивость	IEC 1008 (EN 61008)
Степень защиты, встроенный защитный дифференциальный выключатель	IP 40

механические

Высота выреза в защитной панели	45 мм
Высота основания защитного дифференциального выключателя	80 мм
Ширина	35 мм (2 TE), 70 мм (4 TE)
Монтаж	на приборную шину 35 мм
Монтажная позиция	произвольная
Приводные/выводные зажимы	любые
Зажимы	болтовые / хомутные
Сечение подключаемого провода	1 - 25 мм^2
Толщина соединительной шины	0,8 - 2 мм

Принадлежности	**Тип**
Блок вспомогательных контактов	Z-HK, Z-NHK

УЗО типа CFI6

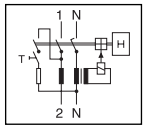
2-х полюсное УЗО

Номинальный ток I_n (A)	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение Тип AC	Типовое обозначение Тип A
25	0,03	CFI6-25/2/0,03	CFI6-25/2/0,03-A
25	0,10	CFI6-25/2/0,1	CFI6-25/2/0,1-A
25	0,30	CFI6-25/2/0,3	CFI6-25/2/0,3-A
40	0,03	CFI6-40/2/0,03	CFI6-40/2/0,03-A
40	0,10	CFI6-40/2/0,1	CFI6-40/2/0,1-A
40	0,30	CFI6-40/2/0,3	CFI6-40/2/0,3-A
63	0,03	CFI6-63/2/0,03	CFI6-63/2/0,03-A
63	0,10	CFI6-63/2/0,1	CFI6-63/2/0,1-A
63	0,30	CFI6-63/2/0,3	CFI6-63/2/0,3-A

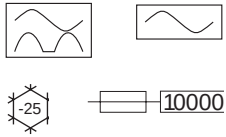
4-х полюсное УЗО

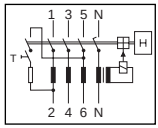
Номинальный ток I_n (A)	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение Тип AC	Типовое обозначение Тип A
25	0,03	CFI6-25/4/0,03	CFI6-25/4/0,03-A
25	0,10	CFI6-25/4/0,1	CFI6-25/4/0,1-A
25	0,30	CFI6-25/4/0,3	CFI6-25/4/0,3-A
40	0,03	CFI6-40/4/0,03	CFI6-40/4/0,03-A
40	0,10	CFI6-40/4/0,1	CFI6-40/4/0,1-A
40	0,30	CFI6-40/4/0,3	CFI6-40/4/0,3-A
63	0,03	CFI6-63/4/0,03	CFI6-63/4/0,03-A
63	0,10	CFI6-63/4/0,1	CFI6-63/4/0,1-A
63	0,30	CFI6-63/4/0,3	CFI6-63/4/0,3-A

УЗО типа PF7, PFNM

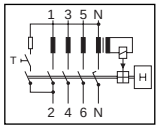


2-х полюсное



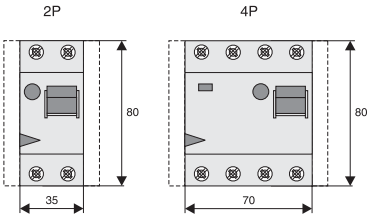


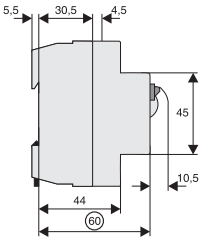
PF7



PFNM 4-х полюсное

Размеры PF7

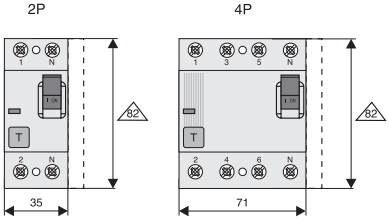


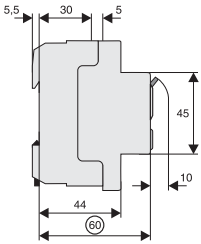


PF7

PF7

Размеры PFNM





PFNM

УЗО типа PF7, PFNM

Технические данные

электрические

Свойства УЗО		чувствительность к переменному току и к пульсирующему постоянному току
Удовлетворяет требованиям		EN 61008, IEC 755
Характеристики отключения		для общего применения (без задержки) со временем бездействия мин. 10 мс селективная - со временем бездействия мин. 40 мс
Номинальное напряжение		230/400 В; 50/60 Гц
Номин. откючающий дифференц. ток		10, 30, 100, 300, 500 мА
Максимальная токовая защита от короткого замыкания		10 кА с предохранителем 63 A gG (от PF7-16 до 63) 80 A gG (PF7-80), 100 A gG (PFNM-100)
Максимальный предохранитель от перегрузки		25 A gG (PF7 - 25, 40 A) 40 A gG (PF7 - 63 A) 50 A gG (PF7 - 80 A) 63 A gG (PFNM - 100 A)
Климатическая устойчивость		согласно EN 61008 (IEC 1008)
Степень защиты (под кожухом)		IP 40
Долговечность	электрическая механическая	≥ 4 000 коммутационных циклов ≥ 20 000 коммутационных циклов

механические

Высота выреза в защитной панели	45 мм
Высота основания защит. диффер. выключателя	80 мм (PF7), 82 мм (PFNM)
Ширина	35 мм (2TE), 70 мм (4TE)
Монтаж	на приборную шину 35 мм
Монтажная позиция	произвольная
Зажимы	болтовые/хомутные
Сечение подключаемого провода	1 - 25 мм^2 (PF7), 1 - 35 мм^2 (PFNM)
Толщина соединительной шины	0,8 - 2 мм

Принадлежности	Тип
Блок вспомогательных контактов	Z-HK, Z-NHK
Модуль отключения для PF7-2п	Z-FAM
Электродвигательный привод	FW-BAS
Соединительный зажим 35 мм^2	HA-ZK35

УЗО типа PF7, PFNM

2-х полюсное, 4-х полюсное

для общего использования без задержки
устойчивость к импульсному току 250 А

Номин. ток I_n (А)	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (А)	Типовое обозначение	Типовое обозначение
25	0,03	PF7-25/2/003	PF7-25/4/003
25	0,10	PF7-25/2/01	PF7-25/4/01
40	0,03	PF7-40/2/003	PF7-40/4/003
40	0,10	PF7-40/2/01	PF7-40/4/01
40	0,30		PF7-40/4/03
63	0,03	PF7-63/2/003	PF7-63/4/003
63	0,10	PF7-63/2/01	PF7-63/4/01
63	0,30	PF7-63/2/03	PF7-63/4/03
80	0,03		PF7-80/4/003
80	0,10		PF7-80/4/01
100	0,03		PFNM-100/4/003
100	0,10		PFNM-100/4/01
100	0,30		PFNM-100/4/03
125	0,03		PFDM-125/4/003
125	0,10		PFDM-125/4/01
125	0,30		PFDM-125/4/03
125	0,50		PFDM-125/4/05

Номин. ток I_n (А)	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (А)	Типовое обозначение	Типовое обозначение
16	0,01	PF7-16/2/001-A	
25	0,03	PF7-25/2/003-A	PF7-25/4/003-A
25	0,10	PF7-25/2/01-A	PF7-25/4/01-A
25	0,30	PF7-25/2/03-A	PF7-25/4/03-A
40	0,03	PF7-40/2/003-A	PF7-40/4/003-A
40	0,10	PF7-40/2/01-A	PF7-40/4/01-A
40	0,30	PF7-40/2/03-A	PF7-40/4/03-A
63	0,03	PF7-63/2/003-A	PF7-63/4/003-A
63	0,10	PF7-63/2/01-A	PF7-63/4/01-A
63	0,30		PF7-63/4/03-A
80	0,03		PFNM-80/4/003-A
80	0,10		PFNM-80/4/01-A
80	0,30		PFNM-80/4/03-A
100	0,03		PFNM-100/4/003-A
100	0,10		PFNM-100/4/01-A
100	0,30		PFNM-100/4/03-A
125	0,03		PFDM-125/4/003-A
125	0,10		PFDM-125/4/01-A
125	0,30		PFDM-125/4/03-A
125	0,50		PFDM-125/4/05-A

УЗО типа PF7, PFNM

2-х полюсное, 4-х полюсное

G **устойчивость к импульс. току 3 кА**

Номин. ток I_n (A)	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение	Типовое обозначение
25	0,03	PF7-25/2/003-G	
25	0,10	PF7-25/2/01-G	
40	0,03	PF7-40/2/003-G	PF7-40/4/003-G
40	0,10	PF7-40/2/01-G	PF7-40/4/01-G
63	0,03		PF7-63/4/003-G
63	0,10		PF7-63/4/01-G
63	0,03		PF7-63/4/003-R*

Примечание:
* Пригоден для рентгеновских приборов

S **селективное + устойчивость к импульсному току 5 кА**

Номин. ток I_n (A)	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение	Типовое обозначение
25	0,10		PF7-25/4/01-S/A
40	0,10	PF7-40/2/01-S	PF7-40/4/01-S/A
40	0,30	PF7-40/2/03-S	PF7-40/4/03-S/A
63	0,10		PF7-63/4/01-S/A
63	0,30		PF7-63/4/03-S/A
80	0,10		PF7-80/4/01-S
80	0,30		PF7-80/4/03-S/A
100	0,30		PFNM-100/4/03-S/A

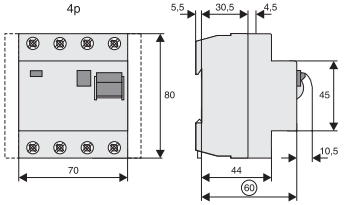
УЗО типа PF7, PFNM

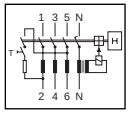
S **селективное + тип U + устойчивость к импульсному току 5 кА**

- Уменьшает число нежелательных срабатываний, вызванных частотными преобразователями, учитывает влияние частоты на характеристику отключения
- Удовлетворяет требованиям EN 61008 и EN 219 (1989)
- Возможность выбора приводных/выводных зажимов

4-х полюсное

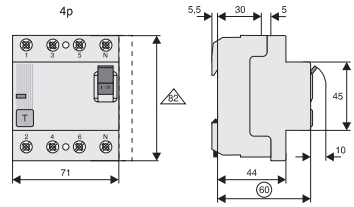
Номинальный ток I_n (A)	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение
40	0,10	PF7-40/4/01-U
40	0,30	PF7-40/4/03-U
63	0,10	PF7-63/4/01-U
63	0,30	PF7-63/4/03-U

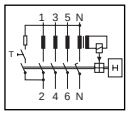




4-х полюсное

Номинальный ток I_n (A)	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение
80	0,30	PFNM-80/4/03-U
100	0,30	PFNM-100/4/03-U

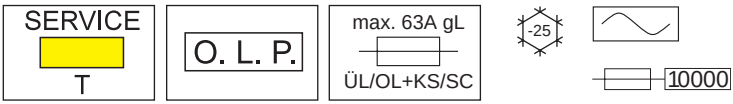


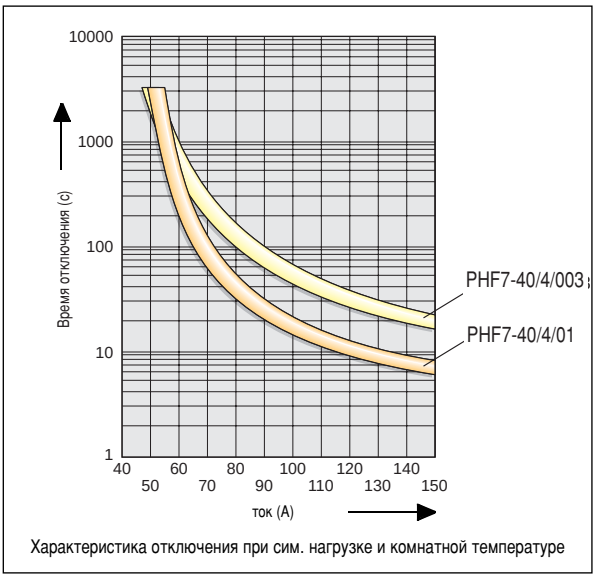


УЗО типа PHF7

• УЗО с высокой эксплуатационной надёжностью

- Обнаружение и анализ номин. дифференц. тока являются независимыми от напряжения сети, отключение является зависимым
- Встроенная термическая защита контактов
- Сервисная кнопка, не требуется регулярная проверка функции
- Возможность выбора прив./выводных зажимов
- Дистанционное отключение при помощи Z-FAM (4п), Z-KAM (2п)
- Для типа PHF7 (4п) возможность дистанционного управления при помощи электродвигательного привода FW-BAS



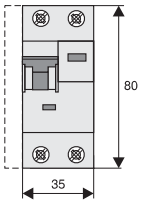


Характеристика отключения при сим. нагрузке и комнатной температуре

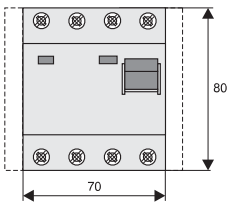
Типичная форма характеристики отключения максимальной токовой защиты.

Размеры PHF7

2P



4P



УЗО типа PHF7

Технические данные

электрические

Соответствует требованиям		EN 61008 (IEC 1008)
Характеристики отключения	G	со временем бездействия мин. 10 мс
	S	селективная - со временем бездействия мин. 40 мс
Номинальное напряжение		230/400 В; 50 Гц
Номин. откючающий дифференц. ток		30, 100, 300 мА
Чувствительность		к переменному току
Макс. предохранитель для защиты от короткого замыкания		63 A gG (10 кА)
Климатическая устойчивость		согласно EN 61008
Степень защиты (под кожухом)		IP 40
Долговечность электрическая		> 4 000 коммутационных циклов
механическая		> 20 000 коммутационных циклов

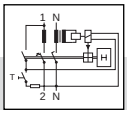
механические

Высота выреза в защитной панели	45 мм
Высота основания	80 мм
Ширина	35 мм (2 TE), 70 мм (4 TE)
Монтаж	на приборную шину согласно EN 50022
Зажимы	болтовые/хомутные
Привод/вывод	произвольный
Сечение подключаемого провода	1 - 25 мм^2
Толщина соединительной шины	0,8 - 2 мм

Принадлежности	Тип
Блок вспомогательных контактов	Z-HK (от 24 В)
Блок вспомогательных и сигнальных контактов	Z-NHK (от 5 В)
Электродвигательный привод	FW-BAS
Модуль отключения для HF7 (4п)	Z-FAM
Модуль отключения для HF7 (2п)	Z-KAM
Соединительный зажим 35 мм^2	HA-ZK35

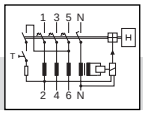
УЗО типа PHF7

G **устойчивость к импульсному току 3 кА**



2-х полюсное

Номинальный ток I_n (A)	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение
25	0,03	PHF7-25/2/003-G
40	0,03	PHF7-40/2/003-G

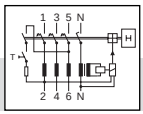


4-х полюсное

Номинальный ток I_n (A)	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение
25	0,03	PHF7-25/4/003-G
40	0,03	PHF7-40/4/003-G
63	0,03	PHF7-63/4/003-G

- Тип **G** ограничивает число нежелательных отключений, вызванных импульсами тока в рабочих проводах и кратковременными токами неисправности с продолжительностью до 10 мс (влияние ёмкостей по отношению к земле, влияние разрядников перенапряжения и т.п.)

S **селективные + устойчивость к импульсному току 5 кА**



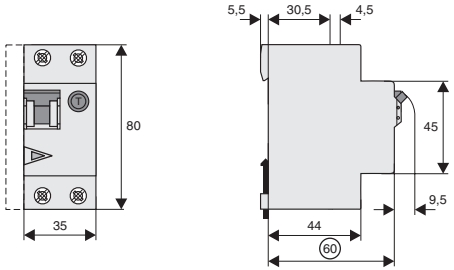
4-х полюсное

Номинальный ток I_n (A)	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение
40	0,10	PHF7-40/4/01-S
40	0,30	PHF7-40/4/03-S
63	0,10	PHF7-63/4/01-S
63	0,30	PHF7-63/4/03-S

- Тип **S** ограничивает число нежелательных отключений, вызванных импульсами тока в рабочих проводах (макс. 5 кА) и кратковременными токами неисправности с продолжительностью до 40 мс. Используется для селективного размещения защитных диф. выключателей.

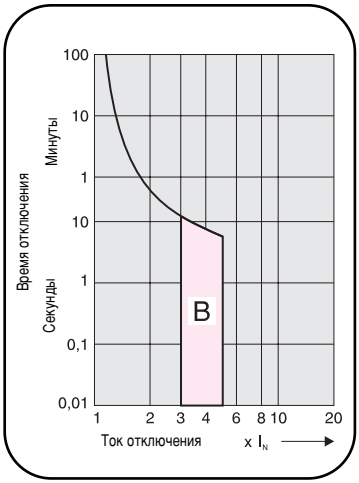
УЗО типа PFL7

Размеры PFL7

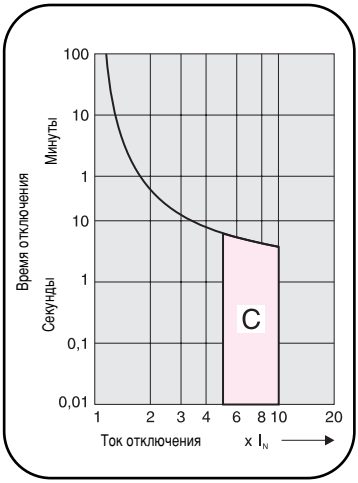


Время-токовые характеристики УЗО ($I_{\Delta n}$ = 30 мА) со встроенным автоматическим выключателем.

Выключающая способность B



Выключающая способность C



УЗО типа PFL7

Технические данные

электрические

Удовлетворяет требованиям	EN 61 009, IEC 1009
Свойства УЗО	чувствительность к переменному току и к перемен. и пульсир. постоянному току
Характеристики отключения	для общего применения, без задержки со временем бездействия мин. 10 мс
Номинальное напряжение	230 В; 50/60 Гц
Номин. откючающий дифференц. ток	30 мА (300 мА по заказу)
Класс селективности автом. выключателя	3
Отключ. способность автом. выключателя	10 кА
Выключ. способность авт. выключателя	B, C
Максимальный предохранитель	100 A gG (>10 кА)
Климатическая устойчивость	согласно EN 61009
Степень защиты (под кожухом)	IP 40
Долговечность электрическая механическая	≥ 4 000 коммутационных циклов ≥ 20 000 коммутационных циклов

механические

Высота выреза в защитной панели	45 мм
Высота основания защ. диф. выключателя	80 мм
Ширина	35 мм (2 TE)
Монтаж	на приборную шину согласно EN 50022
Монтажная позиция	произвольная
Зажимы	болтовые/хомутные
Сечение подключаемого провода	1 - 25 мм^2
Толщина соединительной шины	0,8 - 2 мм
Приводные/выводные зажимы	любые

Принадлежности	Тип
Блок вспомогательных контактов	Z-HK (от 24 В)
Блок вспомог. и сигнальных контактов	Z-NHK (от 5 В)
Шунтовой расцепитель	Z-ASA 230, ASA 24
Модуль отключения	Z-KAM

УЗО типа PFL7

☐ **устойчивость к импульсному току 250 А**

Характеристика **B**

Номин. ток I_n (А)	Ном. откюч. диффер. ток $I_{\Delta n}$ (А)	Типовое обозначение
6	0,03	PFL7-6/1N/003/B
10	0,03	PFL7-10/1N/003/B
13	0,03	PFL7-13/1N/003/B
16	0,03	PFL7-16/1N/003/B
20	0,03	PFL7-20/1N/003/B
25	0,03	PFL7-25/1N/003/B
32	0,03	PFL7-32/1N/003/B
40	0,03	PFL7-40/1N/003/B

Характеристика **C**

Номин. ток I_n (А)	Ном. откюч. диффер. ток $I_{\Delta n}$ (А)	Типовое обозначение
6	0,03	PFL7-6/1N/003/C
10	0,03	PFL7-10/1N/003/C
13	0,03	PFL7-13/1N/003/C
16	0,03	PFL7-16/1N/003/C
20	0,03	PFL7-20/1N/003/C
25	0,03	PFL7-25/1N/003/C
32	0,03	PFL7-32/1N/003/C
40	0,03	PFL7-40/1N/003/C

G **устойчивость к импульсному току 3 кА**

Характеристика **B**

Номин. ток I_n (А)	Ном. откюч. диффер. ток $I_{\Delta n}$ (А)	Типовое обозначение
13	0,03	PFL7-13/1N/003/B-G
16	0,03	PFL7-16/1N/003/B-G
20	0,03	PFL7-20/1N/003/B-G
25	0,03	PFL7-25/1N/003/B-G
32	0,03	PFL7-32/1N/003/B-G
40	0,03	PFL7-40/1N/003/B-G

Характеристика **C**

Номин. ток I_n (А)	Ном. откюч. диффер. ток $I_{\Delta n}$ (А)	Типовое обозначение
13	0,03	PFL7-13/1N/003/C-G
16	0,03	PFL7-16/1N/003/C-G
20	0,03	PFL7-20/1N/003/C-G
25	0,03	PFL7-25/1N/003/C-G
32	0,03	PFL7-32/1N/003/C-G
40	0,03	PFL7-40/1N/003/C-G

☐ **устойчивость к импульсному току 250 А**

Характеристика **B**

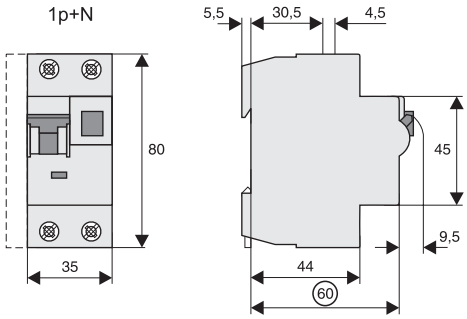
Номин. ток I_n (А)	Ном. откюч. диффер. ток $I_{\Delta n}$ (А)	Типовое обозначение
6	0,03	PFL7-6/1N/003/B-A
10	0,03	PFL7-10/1N/003/B-A
13	0,03	PFL7-13/1N/003/B-A
16	0,03	PFL7-16/1N/003/B-A
20	0,03	PFL7-20/1N/003/B-A
25	0,03	PFL7-25/1N/003/B-A
32	0,03	PFL7-32/1N/003/B-A
40	0,03	PFL7-40/1N/003/B-A

Характеристика **C**

Номин. ток I_n (А)	Ном. откюч. диффер. ток $I_{\Delta n}$ (А)	Типовое обозначение
6	0,03	PFL7-6/1N/003/C-A
10	0,03	PFL7-10/1N/003/C-A
13	0,03	PFL7-13/1N/003/C-A
16	0,03	PFL7-16/1N/003/C-A
20	0,03	PFL7-20/1N/003/C-A
25	0,03	PFL7-25/1N/003/C-A
32	0,03	PFL7-32/1N/003/C-A
40	0,03	PFL7-40/1N/003/C-A

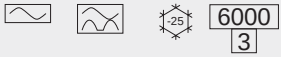
УЗО типа CKN6

Размеры CKN6



Технические данные

электрические

Удовлетворяет требованиям	EN 61 009, IEC 1009
Свойства УЗО	
Характеристики отключения	для общего применения, без задержки
Номинальное напряжение	230 В; 50/60 Гц
Номин. откючающий дифференц. ток	30 мА (300 мА по заказу)
Класс селективности автом. выключателя	3
Отключ. способность автом. выключателя	6 кА
Выключ. способность авт. выключателя	B, C
Максимальный предохранитель	100 A gG (>10 кА)
Долговечность электрическая механическая	≥ 4 000 коммутационных циклов ≥ 20 000 коммутационных циклов

механические

Зажимы	болтовые/хомутные
Сечение подключаемого провода	1 - 25 мм^2
Толщина соединительной шины	0,8 - 2 мм
Приводные/выводные зажимы	любые

Принадлежности	Тип
Блок вспомогательных контактов	Z-HK (от 24 В)
Блок вспомог. и сигнальных контактов	Z-NHK (от 5 В)
Шунтовой расцепитель	Z-ASA 230, ASA 24

УЗО типа CKN6

☐ **устойчивость к импульсному току 250 А**

Характеристика **B**			Характеристика **C**		
Номин. ток I_n (A)	Ном. откюч. диффер. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение	Номин. ток I_n (A)	Ном. откюч. диффер. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение
6	0,03	CKN6-6/1N/B/003	6	0,03	CKN6-6/1N/C/003
10	0,03	CKN6-10/1N/B/003	10	0,03	CKN6-10/1N/C/003
13	0,03	CKN6-13/1N/B/003	13	0,03	CKN6-13/1N/C/003
16	0,03	CKN6-16/1N/B/003	16	0,03	CKN6-16/1N/C/003
20	0,03	CKN6-20/1N/B/003	20	0,03	CKN6-20/1N/C/003
25	0,03	CKN6-25/1N/B/003	25	0,03	CKN6-25/1N/C/003
32	0,03	CKN6-32/1N/B/003	32	0,03	CKN6-32/1N/C/003
40	0,03	CKN6-40/1N/B/003	40	0,03	CKN6-40/1N/C/003

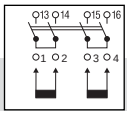
☐ **устойчивость к импульсному току 250 А**

Характеристика **B**			Характеристика **C**		
Номин. ток I_n (A)	Ном. откюч. диффер. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение	Номин. ток I_n (A)	Ном. откюч. диффер. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение
6	0,03	CKN6-6/1N/B/003-A	6	0,03	CKN6-6/1N/C/003-A
10	0,03	CKN6-10/1N/B/003-A	10	0,03	CKN6-10/1N/C/003-A
13	0,03	CKN6-13/1N/B/003-A	13	0,03	CKN6-13/1N/C/003-A
16	0,03	CKN6-16/1N/B/003-A	16	0,03	CKN6-16/1N/C/003-A
20	0,03	CKN6-20/1N/B/003-A	20	0,03	CKN6-20/1N/C/003-A
25	0,03	CKN6-25/1N/B/003-A	25	0,03	CKN6-25/1N/C/003-A
32	0,03	CKN6-32/1N/B/003-A	32	0,03	CKN6-32/1N/C/003-A
40	0,03	CKN6-40/1N/B/003-A	40	0,03	CKN6-40/1N/C/003-A

Время-токовые характеристики УЗО ($I_{\Delta n}$ = 30 мА) со встроенным автоматическим выключателем - смотри стр. 93 (для PFL7).

Дифференциальные реле PFR

- Удовлетворяет требованиям EN 61008
- Номинальное напряжение 230/400 В; 50/60 Гц
- Ном. откючающий дифференц. ток 0,3 и 1 А
- Номинальный ток контактов для AC-15: 25 А/400 В, 16 А/230 В
- Тип А, чувствительный и к пульсирующему постоянному току
- Возможность дополнительного монтажа вспомогательных контактов

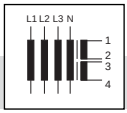


Дифференциальные реле PFR..-S/A

S **селективные + устойчивость к импульсному току 5 кА**

Порядок контактов	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение
02	0,3	PFR2-03-S/A
02	0,3	PFR3-03-S/A
02	1,0	PFR2-1-S/A
02	1,0	PFR3-1-S/A

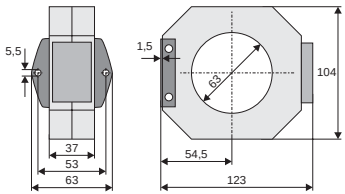
- Сечение подключаемых проводов - мин 1,5 мм^2 , макс. 2,5 мм^2



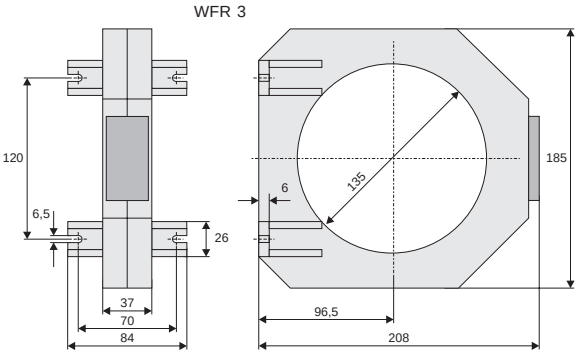
Накидной трансформатор для WFR..-S/A

Диаметр отверстия для кабеля	Сечение подключ. проводов (мм^2)	Типовое обозначение
60 мм	мин. 1,5	WFR 2-S/A
60 мм	макс. 2,5	WFR 3-S/A

WFR 2



WFR 3



Дифференциальные реле PFR

Дифференциальные реле PFR..-U

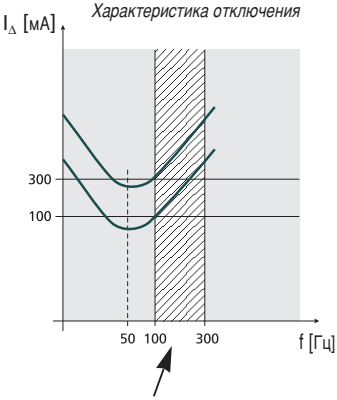
- Устройства защитного отключения для цепей с частотными преобразователями
- С точки зрения классификации типов речь идет о селективном типе в комбинации с типом A (чувствительность так же и к пульсирующим постоянным токам небаланса).

Порядок контактов	Ном. откючающий дифференц. ток $I_{\Delta n}$ (A)	Типовое обозначение
02	0,3	PFR2-03-U
02	0,3	PFR3-03-U
02	1,0	PFR2-1-U
02	1,0	PFR3-1-U

Накидной трансформатор для WFR..-U

Диаметр отверстия для кабеля	Сечение подключ. проводов ($мм^2$)	Типовое обозначение
60 мм	мин. 1,5	WFR 2-U
60 мм	макс. 2,5	WFR 3-U

Характеристика отключения



Диапазон помех преобразователя (приблизительно 100 - 300 Гц)

Почему необходимо использовать УЗО типа U?

Быстрой коммутацией полупроводниковых коммутационных элементов (тиристоры, симисторы, транзисторы) возникают относительно большие напряжения, которые проявляются как нежелательные помехи. Чтобы было возможно эту проблему устранить, между цепью питания с УЗО и двигателем устанавливается сетевой фильтр, в котором монтированы пассивные элементы (дроссели, конденсаторы). Задержанные нежелательные напряжения помех в фильтрах при помощи заземления отводятся в землю. В результате подавления помех, следовательно, возникают токи утечки на землю, которые с точки зрения функции устройства защитного отключения кажутся токами небаланса. Так как стандартные устройства защитного отключения конструированы для относительно широкого диапазона частоты (от нескольких десяток до сотен Гц), нельзя обеспечить полностью удовлетворительную эксплуатацию без нежелательного отключения в широком диапазоне регулирования оборотов. Характеристика отключения устройства защитного отключения типа U в привычном диапазоне частоты 50 - 300 Гц объясняет главное преимущество этого типа прибора.
С точки зрения классификации типов речь идет о селективном типе в комбинации с типом A (чувствительность так же и к пульсирующим постоянным токам небаланса).