

Ложные срабатывания УЗО:

КТО ВИНОВАТ И ЧТО ДЕЛАТЬ?

В статье проанализированы причины ложных срабатываний устройств защитного отключения (УЗО) и описаны меры, необходимые для предотвращения таких срабатываний.

Владимир Гуревич, к. т. н.

Введение

Устройства защитного отключения (УЗО) широко применяются во всех странах в электросетях жилых зданий и промышленных предприятий в качестве дополнительной меры защиты людей от поражения электрическим током (УЗО с дифференциальным током срабатывания до 30 мА [1, 2]) и для защиты от пожара, к которому может привести возрастание температуры при протекании тока через место повреждения изоляции кабелей и других видов электрооборудования (УЗО с токами срабатывания от 100 до 300 мА [3, 4]).

При таком широком распространении УЗО достоянием гласности становится множество случаев их ложных срабатываний. Одно дело, если ложно отключилось электропитание квартиры в жилом доме, которое можно легко и просто восстановить, вернув УЗО в исходное положение, и совсем другое, если произошло отключение во время работы сложного промышленного электронного оборудования, компьютеров, серверов и т. п. Ущерб во втором случае может быть очень значительным, и не только чисто материальный. В п. 7.1.81 ПУЭ-7 однозначно запрещается установка УЗО для электроприемников, отключение которых может привести к ситуациям, опасным для потребителей (отключению пожарной сигнализации и т. п.). Однако далеко не всегда на практике можно заранее предвидеть, к каким именно отдаленным последствиям может привести отключение тех или иных конкретных электроприемников, подключенных через УЗО (например, компьютеров, управляющих технологическим процессом, устройств специальной связи и сигнализации и т. д.), поэтому проблема ложных срабатываний УЗО является весьма актуальной. Этой теме посвящены многочисленные публикации в специальной технической литературе [5–10], о наличии такой проблемы прямо пишут все крупные производители УЗО в своих каталогах, такие как ABB, Siemens, Schneider Electric, Merlin Gerin, Legrand, Eaton, Moeller и др.

Стандартами [11, 12] предусмотрены два основных типа УЗО: АС и А. Стандартом [13] — еще два дополнительных типа В и F. Все они отличаются

характером тока, протекающего через устройство. Так, например, УЗО типа АС предназначено только для чисто синусоидального переменного тока; типа А — для переменного синусоидального и наложенного на него пульсирующего выпрямленного тока; типа В — для переменных синусоидальных, с частотой до 1000 Гц, пульсирующих, постоянных или выпрямленных сглаженных токов; типа F (обозначение связано со словом frequency — частота) — для переменного синусоидального и пульсирующего токов, а также для несинусоидальных токов, содержащих гармоники, генерируемые преобразователями частоты. Множество дополнительных типов, «изобретенных» производителями специально для уменьшения ложных срабатываний (например, типы U, K, AP-R, SI и др.), не предусмотрены стандартами. Существует также деление УЗО на приборы общего применения (тип G — general) и селективные (S — selective). Последние обладают увеличенным дифференциальным током срабатывания, снабжены задержкой срабатывания и применяются в разветвленных каскадных сетях.

Несмотря на наличие на рынке УЗО многочисленных типов, проблема их ложных срабатываний остается, как показывает практика, актуальной.

Анализ причин ложных срабатываний УЗО

Оговоримся сразу, мы не будем рассматривать случаи отказов в работе УЗО, вызванных их поломками, а будем рассматривать лишь случаи ложных срабатываний полностью исправных УЗО. Тут может возникнуть вопрос: как же так, ведь если УЗО полностью исправно и полностью соответствует всем предъявляемым к нему требованиям, то как оно может ложно срабатывать? Все дело в особых условиях и специфических режимах, которые иногда возникают в электрических сетях, а также в параметрах самих сетей и режимах работы потребителей электроэнергии. При высокой чувствительности УЗО режимы работы самой сети и потребителей, питающихся через УЗО, оказывают на него самое непосредственное влияние и часто служат причиной ложных срабатываний.

Естественные («фоновые») токи утечки на землю через неповрежденную изоляцию кабелей и электроприемников

Как известно, УЗО реагируют на так называемый дифференциальный ток, который представляет собой разность между фазным током (или суммой фазных токов в трехфазной сети) и током в нулевом проводе. Если весь ток, который прошел через УЗО к потребителю через фазный провод, вернулся к УЗО через нулевой провод, то дифференциальный ток, на который настроено УЗО, будет равен нулю. Если часть тока фазы, прошедшего через УЗО, «стекла» на землю через изоляцию и не вернулась к УЗО через нулевой провод, то появится та самая разность токов (дифференциальный ток), на которую и реагирует устройство. Распределенные емкости относительно земли кабелей, емкости между обмотками трансформаторов и двигателей относительно заземленных корпусов, емкости многочисленных фильтров, установленных в цепях питания практически всех видов электронной аппаратуры, — все это пути утечки на землю тока. Того самого тока, на который и должно реагировать исправное УЗО. В соответствии со стандартами [14, 15] ток срабатывания УЗО может лежать в пределах $0,5I_{\Delta N} - I_{\Delta N}$. То есть, реальное исправное УЗО с номинальным дифференциальным током срабатывания 30 мА (максимально допустимый ток для защиты людей от поражения электрическим током) может сработать при токе в 50% номинального, то есть при 15 мА. Для УЗО типов А и В реальные токи срабатывания зависят еще от угла задержки пульсирующей составляющей тока и, в соответствии со стандартами [11, 12, 14], лежат в пределах $0,11I_{\Delta N} - 2I_{\Delta N}$.

Искажения формы тока в цепи УЗО

Качество электроэнергии в бытовых и промышленных электросетях имеет тенденцию постоянного ухудшения в связи с расширяющимся применением нелинейных нагрузок, таких как мощные регуляторы напряжения, преобразователи частоты, агрегаты бесперебойного питания, осветительные установки со светодиодами, компьютеры, серверы, контроллеры и другие маломощные электронные устройства с импульсными источниками питания, потребляющие из сети несинусоидальный ток. Такой искаженный ток, содержащий в своем составе большое количество высоко-

частотных гармоник, будет протекать и через УЗО (рис. 1, таблица 1).

Как показано в исследованиях [5–10], искаженный ток, протекающий через УЗО электромеханического типа, существенно изменяет его порог срабатывания. Влияние высокочастотных гармоник на состояние магнитопровода внутреннего трансформатора тока УЗО и на его другие элементы достаточно сложно и неоднозначно. В некоторых случаях можно говорить об опасности несрабатывания УЗО, а в некоторых — о снижении порога срабатывания, то есть об увеличении вероятности ложных срабатываний. Но высокочастотные гармоники не только изменяют порог срабатывания УЗО, но и увеличивают общий «фоновый» ток утечки через емкости сети и потребителей. Поэтому может оказаться, что даже специально подобранное для работы с искаженными токами УЗО будет по-прежнему ложно срабатывать.

Воздействие импульсов тока в цепи УЗО

Помимо гармоник, электрические сети жилых зданий и особенно сети промышленных предприятий постоянно подвергаются воздействию атмосферных и коммутационных импульсных перенапряжений. Эти перенапряжения «срезаются» различного рода защитными элементами: газовыми разрядниками, нелинейными сопротивлениями (варисторами), специальными нелинейными полупроводниковыми элементами. Такие защитные элементы устанавливаются и непосредственно в сетях, в виде отдельных конструкций, а также имеются в составе внутренних источников питания всех современных электронных устройств. Короткие (доли миллисекунды) импульсы значительного по величине тока (сотни ампер), возникающие при срабатывании таких устройств защиты от перенапряжений, протекают между фазой и землей или

между нулем и землей. В любом случае они являются теми самыми дифференциальными токами, на которые должны реагировать УЗО.

Внутренние источники электропитания электронной аппаратуры [16] содержат, как правило, сетевые фильтры на входе, основными элементами которых являются конденсаторы, включенные между фазными напряжениями и землей, а также между нулевым проводом и землей. Эти конденсаторы обуславливают в момент включения появления броска тока между фазой и землей, на который должно реагировать УЗО. Кроме того, импульсные источники питания (а это основной вид источников питания для всех современных электронных устройств) потребляют при работе ток из сети толчками [16]. Крест-фактор, то есть отношение амплитуды к действующему значению тока, потребляемого таким источником, составляет 3, тогда как для обычного синусоидального сигнала — 1,41, что создает дополнительную нагрузку на УЗО.

Воздействие постоянной составляющей тока на работу УЗО

В отличие от рассмотренной выше ситуации с несинусоидальными токами, протекающими через УЗО, распространение силовой электроники с ее преобразователями частоты, регуляторами напряжения, инверторами, конвертерами большой мощности, частотно-регулируемыми электроприводами, обуславливает также протекание через УЗО, установленное в цепях с такими устройствами, высокочастотных синусоидальных токов широтно-импульсной модуляции, а также постоянных или выпрямленных пульсирующих токов. Обычные УЗО типов АС, А и даже F не предназначены для работы в цепях с такими токами. Поскольку входным элементом любого УЗО является дифференциальный трансформатор тока с ферромагнитным сер-

Таблица 1. Реальный гармонический состав токов, протекающих через УЗО, включенное в цепи питания электронной аппаратуры связи и имеющее зарегистрированные случаи ложных срабатываний

Номер гармоники	Содержание каждой гармоники, %			
	L1	L2	L3	N
1	100	100	100	100
2	1	0,9	3	1,3
3	14,6	23,7	46,3	58,2
4	0,9	0,9	2,5	1,3
5	22,5	17,3	45,2	26,8
6	0,8	3,2	2,6	4
7	15,2	10,8	34,6	21
THD, %	34,5	33	80	78

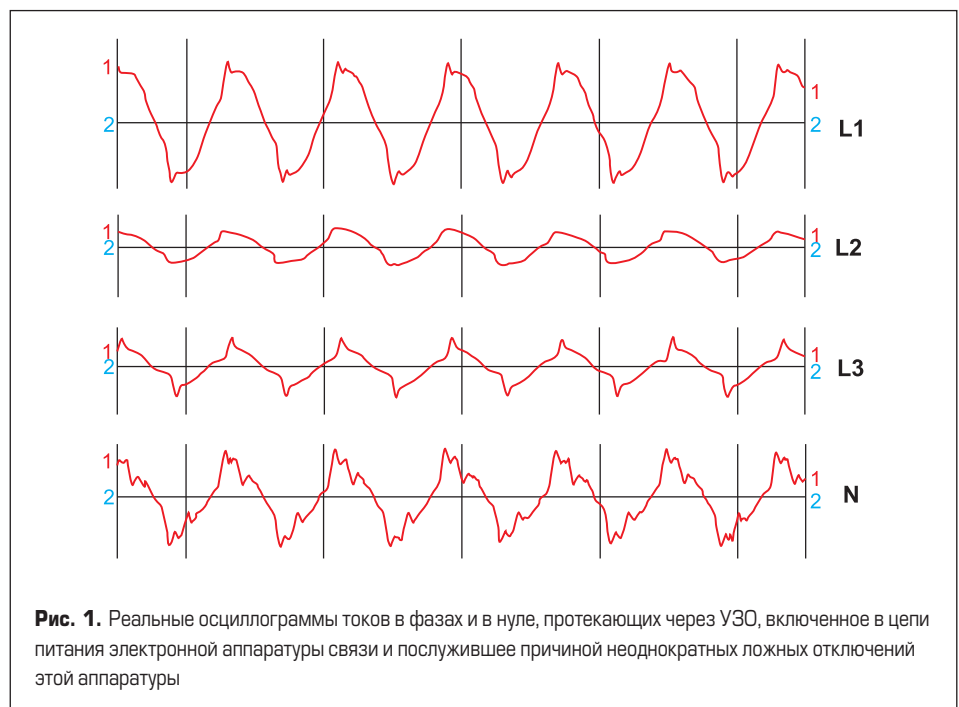


Рис. 1. Реальные осциллограммы токов в фазах и в нуле, протекающих через УЗО, включенное в цепи питания электронной аппаратуры связи и послужившее причиной неоднократных ложных отключений этой аппаратуры

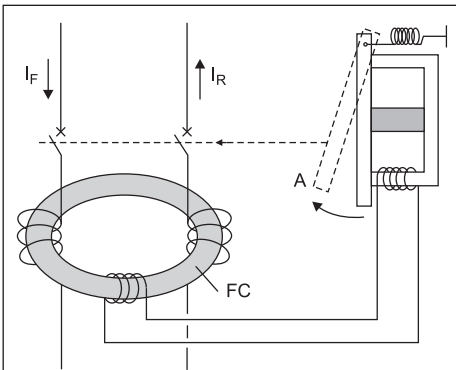


Рис. 2. Упрощенная схема УЗО:
FC — ферромагнитный кольцевой сердечник дифференциального трансформатора тока;
А — толкатель расцепителя контактной системы

дечником (рис. 2), то совершенно очевидно, что характеристики такого трансформатора будут в значительной степени зависеть от наличия постоянной составляющей в токе, то есть момент срабатывания УЗО будет определяться не его номинальным значением дифференциального тока, а случайными флуктуациями токов нагрузки и утечки.

Однако даже если для описанных выше условий будет выбрано УЗО типа В, но при этом не будут приняты специальные меры, устройства данного типа будут подвержены ложному срабатыванию из-за воздействия значительных импульсных токов или фоновых токов утечки, как и УЗО других типов.

Что делать?

Уменьшение влияния естественных («фоновых») токов утечки

Во избежание ложных срабатываний УЗО в стандарте [15], а также в ПУЭ (п. 7.1.83) указано, что оно должно выбираться с таким расчетом, чтобы действующее значение «фоновых» токов утечки в месте его установки не превышало 30% номинального тока срабатывания. То есть для УЗО с $I_{\Delta N} = 30 \text{ mA}$ фоновый ток утечки не должен превышать 10 мА. Как же обстоит дело на практике?

При отсутствии фактических (измеренных) значений тока утечки ПУЭ (п. 7.1.83) предписывает принимать ток утечки для электроприемников из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а для проводов — из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного проводника. Стандарт [15] приводит в качестве примера типовые значения токов утечки некоторых видов электрооборудования (таблица 2). Из приведен-

Таблица 2. Типовые токи утечки некоторых видов электрооборудования

Вид электрооборудования	Типовой ток утечки, мА
Компьютеры	1–2
Принтеры	0,5–1
Портативные переносные бытовые электроприборы	0,5–0,75
Фотокопировальные машины	0,5–1,5
Фильтры	~1,0

ных данных следует, что к одному УЗО может быть подключено не более четырех-пяти компьютеров и одного принтера, расположенных на расстоянии не более нескольких десятков метров от щитка с установленным там УЗО.

Как можно практически измерить реальный ток срабатывания УЗО и реальный фоновый ток утечки, протекающий через него? Для этого существуют специальные приборы, однако квалифицированный персонал промышленных предприятий и организаций может измерить этот ток с помощью простейшего приспособления (рис. 3), соблюдая при этом требования техники безопасности. Сначала измеряется ток срабатывания УЗО (путем плавного уменьшения сопротивления реостата R) при отключенной нагрузке. Затем то же измерение производится при включенной нагрузке. Разность измеренных значений даст искомую величину фоновых токов утечки. Если полученное значение оказалось больше 10 мА, то, в соответствии с рекомендациями [15], следует разделить нагрузку, установить дополнительное УЗО и распределить нагрузки между двумя УЗО.

В сложных разветвленных сетях, имеющих иерархическую (каскадную) структуру, требуется устанавливать УЗО на каждом уровне (каскаде). Разумеется, что при этом фоновые токи утечки высших каскадов (в международных стандартах используется слово «upstream» — буквально «расположенный вверху по течению») будут представлять собой сумму фоновых токов утечки низших каскадов (в международных стандартах используется слово «downstream» — «расположенный внизу по течению»). Поэтому для исключения

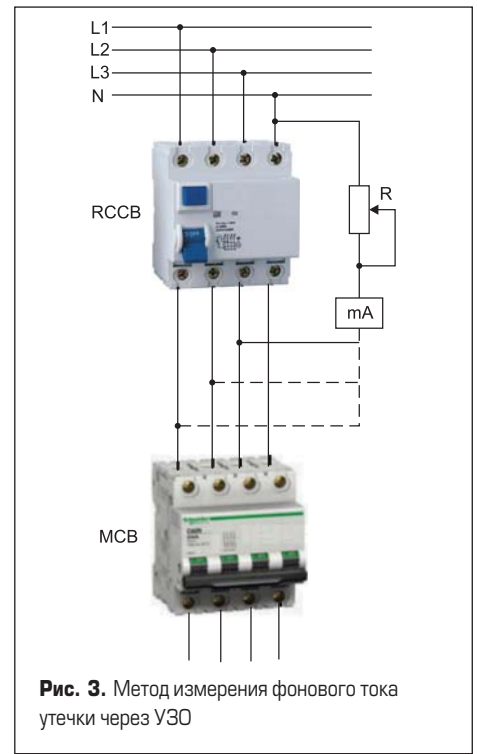


Рис. 3. Метод измерения фоновых токов утечки через УЗО

ложных срабатываний УЗО в таких сетях они должны иметь определенную селективность, как и любые другие системы защиты, применяемые в разветвленных сетях. Специально для таких сетей служат УЗО типа S (селективные, с различными токами срабатывания и различными значениями времени задержки срабатывания), которые включают устройства различных типов по характеру контролируемого тока (рис. 4).

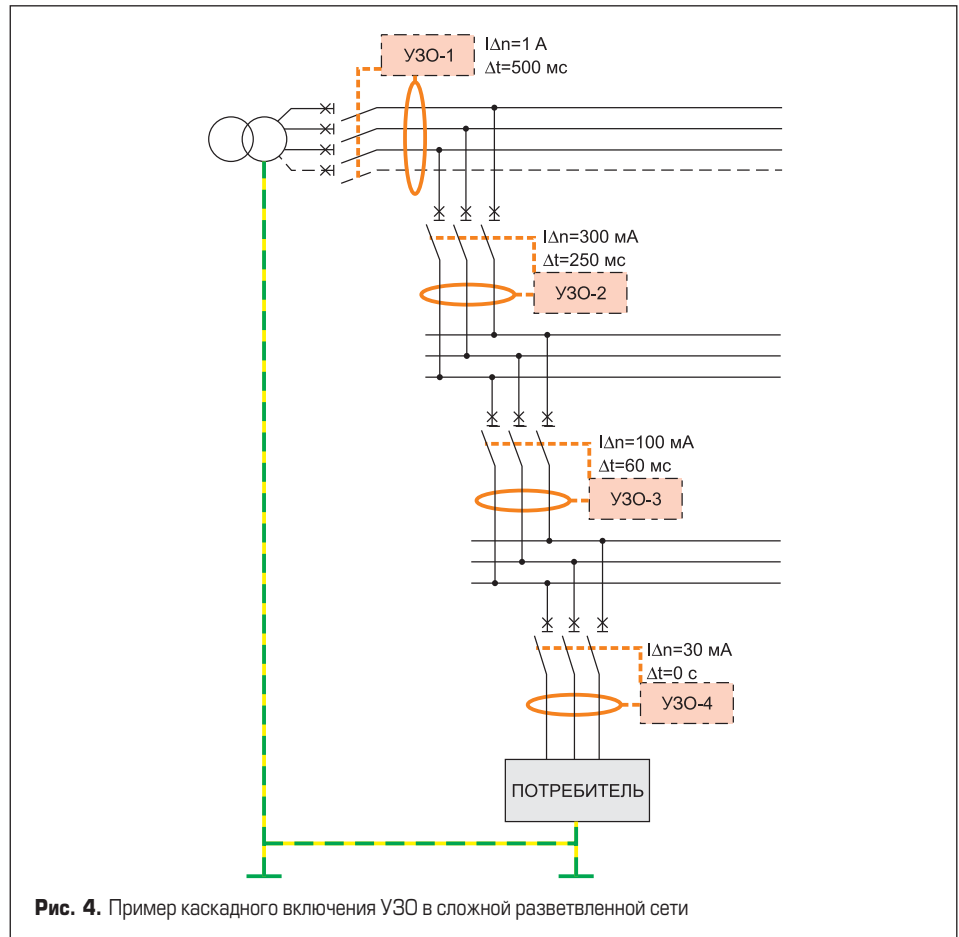


Рис. 4. Пример каскадного включения УЗО в сложной разветвленной сети

Только при таком каскадном включении УЗО можно исключить их ложные срабатывания в сложной сети. Однако следует учитывать, что УЗО с токами срабатывания более 30 мА уже нельзя рассматривать как надежное средство защиты людей от поражения электрическим током. То есть получается, что значительная часть сети в ее «верхнем течении» оказывается лишенной защиты от поражения людей электрическим током и УЗО используется лишь как противопожарное средство. Однако это не означает, что маломощный потребитель, подключенный через обычную розетку где-то на верхнем уровне сети, не может быть защищен отдельным УЗО с током срабатывания 30 мА. В такой ситуации через это УЗО не будет протекать ток утечки всех нижних каскадов сети, поэтому ложные срабатывания могут быть успешно исключены и устройство может обеспечить надежную работу без ложных срабатываний.

В некоторых типах УЗО, представленных как «суперустойчивые» к ложным срабатываниям, эта устойчивость обеспечивается за счет повышения минимального уровня дифференциального тока срабатывания со значения $0,5I_{\Delta n}$ в принципе не запрещенного стандартами, до $0,75-0,8I_{\Delta n}$.

Предотвращение влияния гармоник на работу УЗО

Предотвращение влияния высших гармоник на ложные срабатывания УЗО является вторым направлением повышения их устойчивости. Понятно, что УЗО, специально предназначенные для работы с токами, содержащими высшие гармоники, будут вести себя гораздо более предсказуемо, чем устройства, не предназначенные для работы с токами высоких частот. Собственно говоря, именно поэтому и были разработаны УЗО специального типа (В и F), содержащие специальные фильтры, ограничивающие влияние гармоник. УЗО типа F выпускаются производителями не как самостоятельный тип устройств,

а, в основном, как УЗО типа А, но с расширенными частотными характеристиками. Поэтому в обозначении УЗО такого типа присутствуют иногда две буквы: АF или А-F.

При наличии в сети нелинейных нагрузок, обуславливающих повышенный уровень высокочастотных гармоник или нагрузок, содержащих постоянную составляющую, следует отделять такие нагрузки от общей сети и включать их через УЗО специального типа таким образом, чтобы нелинейный ток и ток, содержащий постоянную составляющую, не протекали через другие УЗО (рис. 5), что предотвратит их ложное срабатывание.

При этом следует принимать во внимание, что повышенный уровень высокочастотных гармоник в напряжении сети приводит к увеличению утечек через емкости проводов и оборудования, то есть увеличению фоновго тока, и поэтому использование УЗО специального типа может оказаться малоэффективным. Повышенный уровень гармоник тока приводит к увеличению падения напряжения на последовательных элементах (дросселях), встроенных в электронное оборудование сетевых фильтров, и может привести к увеличению утечек на землю через конденсаторы этих фильтров. Вместе с тем некоторые исследователи отмечают, что чувствительность к гармоникам УЗО электронного типа значительно меньше, чем УЗО электромеханического типа, как это ни покажется странным на первый взгляд. Это обусловлено тем, что в УЗО электронного типа контролируемый ток, содержащий гармоники, не используется непосредственно для активации расцепителя контактов УЗО, а является лишь источником управляющего сигнала, который очищается от гармоник, усиливается и преобразуется. Для воздействия на расцепитель контактов УЗО используется энергия внешнего источника питания. В качестве такого источника используется фазное напряжение сети. Примером УЗО электронного типа (обозначаемого как U-тип) может служить устрой-

ство, выпускаемое компанией Eaton-Moeller под маркой dRCM-40/4/003-U+.

К сожалению, с применением электронных УЗО (в стандартах они обозначаются как УЗО с зависимым питанием, то есть требующие внешнего питания) не все обстоит так просто. Проблема заключается в том, что при нарушении контакта в цепи нулевого провода электронный блок УЗО потеряет питание и перестанет функционировать, тогда как электромеханическое УЗО сразу сработает и отключит цепь потребителя из-за возникшего небаланса токов. В связи с этим многие производители освоили выпуск УЗО со встроенным элементом, обеспечивающим его срабатывание и размыкание контактов при обрыве нулевого провода (то есть при пропадании питания УЗО). По их мнению, такой алгоритм действия должен был устранить препятствие на пути широкого использования электронных УЗО. Однако в п. 7.1.77 ПУЭ-7 однозначно запрещается применение в жилых зданиях таких УЗО, автоматически отключающих потребителя от сети при исчезновении или недопустимом падении напряжения сети. Почему? У автора нет ответа на этот вопрос. По-видимому, не только у автора, поскольку в рекомендации д. т. н. В. А. Булата по поводу правильного выбора УЗО [17] написано: «Из числа электронных УЗО или дифференциальных автоматов предпочтение следует отдавать тем, которые имеют защиту от обрыва нулевого проводника: обрыв может привести к потере электронными УЗО напряжения питания, что делает их неработоспособными».

В некоторых европейских странах использование электронных УЗО с зависимым питанием в стационарных электрических сетях не разрешается национальными стандартами. Во французском стандарте NFC 15-100 (§ 531.2.2.2) уточняется, что они не должны использоваться в электроустановках жилых помещений. Долгое время и в России из одной статьи в другую кочевало утверждение о недопустимости применения электронных УЗО для защиты человека от поражения током. Причем в большинстве это была одна и та же цитата (об опасности обрыва нулевого провода), дословно переписываемая многими авторами. Однако в п. А.4.14 нового издания [18] уже однозначно записано: «В зданиях для защиты от прямого прикосновения могут использоваться УЗО, по способу действия как зависимые от внешнего источника питания (электронные), так и независимые (электромеханические)».

Никаких ограничений на использование электронных УЗО нет и в новой редакции ПУЭ-7. В международном стандарте [19] применение электронных УЗО разрешается в двух случаях:

- при использовании в качестве средства защиты при непрямом контакте;
- при использовании в сетях и электроустановках, обслуживаемых квалифицированным персоналом.

Прямой контакт подразумевает контакт человека с открытыми токоведущими частями внутри электрооборудования, а непрямой —

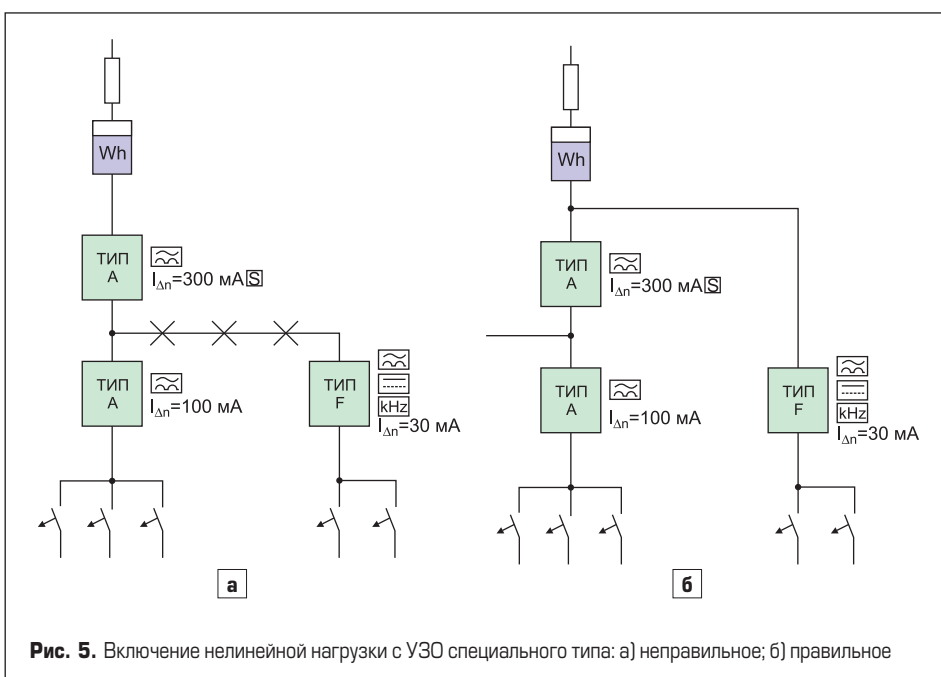


Рис. 5. Включение нелинейной нагрузки с УЗО специального типа: а) неправильное; б) правильное



Рис. 6. Примеры контакта: а) прямого; б) непрямого

контакт человека с корпусом или другими частями электрооборудования, которые нормально изолированы и оказались под напряжением лишь в результате повреждения изоляции (рис. 6). Понятно, что вероятность работы УЗО в последнем случае намного ниже, чем в первом, поэтому стандарт и допускает в этом случае применение устройств электронного типа с зависимым питанием.

Для защиты электромеханических УЗО различных типов от воздействия гармоник значительно более эффективным средством может оказаться использование специально предназначенных для этого фильтров с низкими токами утечки на землю, включаемых последовательно с УЗО.

Примером такого специального фильтра может служить фильтр типа FN3268, производимый швейцарской компанией Schaffner [20] (рис. 7). Такие фильтры предназначены для номинальных токов нагрузки 7, 16, 30, 42, 55, 75 А для УЗО с дифференциальным током 30 мА и для токов нагрузки 100, 130,

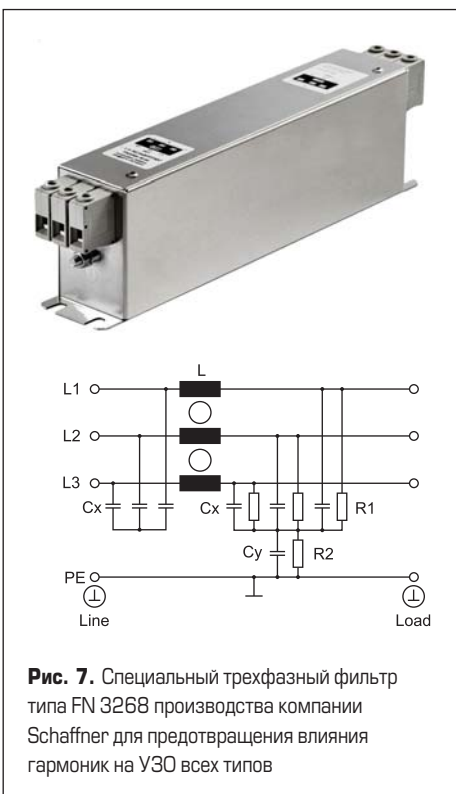


Рис. 7. Специальный трехфазный фильтр типа FN 3268 производства компании Schaffner для предотвращения влияния гармоник на УЗО всех типов

180 А для УЗО с дифференциальным током 300 мА. Они не только обеспечивают устранение влияния высокочастотных гармоник на изменение порога срабатывания самого УЗО, но и снижают фоновый ток утечки, поскольку их собственный ток утечки намного меньше, чем ток утечки через емкости сети от высокочастотных гармоник. По этой причине такие фильтры могут оказаться более эффективным средством предотвращения ложных срабатываний УЗО, чем использование УЗО специальных типов.

Предотвращение влияния импульсов тока на работу УЗО

В принципе, сегодня не существует особой проблемы выделить с помощью электронной цепи короткие (единицы миллисекунд) импульсы тока и заблокировать их воздействие. Но когда речь идет об очень компактных и доступных по цене аппаратах (УЗО), в том числе и электромеханического типа, то практически единственным способом отстройки от таких импульсов тока является использование выдержки времени — с тем чтобы короткие импульсы с длительностью, меньшей этой выдержки времени, не могли активировать УЗО.

По времени срабатывания УЗО подразделяются в соответствии со стандартами [11, 12] на типы G (general) и S (selective). Вообще-то говоря, УЗО не имеют строго постоянного времени срабатывания, а обладают типичной обратной время-токовой характеристикой: чем больше дифференциальный ток, тем меньше задержка на размыкание защищаемой цепи (таблица 3).

В технической литературе [21] приходится сталкиваться с ошибочным толкованием времени срабатывания УЗО и ссылками не на два, а на три типа устройств: мгновенного действия (без выдержки времени), с небольшой задержкой (тип G), с увеличенной задержкой (тип S) (таблица 4).

На самом деле, в соответствии со стандартами, никакого отдельного типа устройств мгновенного действия не существует. Просто для УЗО типа G, в отличие от типа S, минимальное время срабатывания (в стандарте

МЭК оно называется минимальным временем несрабатывания) не нормируется, то есть оно может быть теоретически как угодно мало.

Понятно, что очень малые времена срабатывания УЗО общего применения (тип G) вовсе не способствуют повышению его устойчивости к ложным срабатываниям, но, с другой стороны, УЗО типа S не предназначены для использования в качестве средств защиты человека. Они используются для обеспечения селективности в высших каскадах разветвленных электрических сетей и имеют минимальный дифференциальный ток срабатывания 100–300 мА. Поэтому многие производители выпускают УЗО специальных типов на дифференциальные токи 30 мА (то есть предназначенных для защиты человека) с минимальным нормируемым временем срабатывания 10 мс (т. е. они не должны срабатывать при импульсах тока даже большой амплитуды длительностью менее 10 мс). Такие УЗО классифицируются как особо устойчивые к ложным срабатываниям и обозначаются каждым производителем по-своему. Например, Siemens присвоила таким УЗО тип К, компания ABB обозначает их как AP-R.

Устранение влияния постоянной составляющей на работу УЗО

Для исключения влияния постоянной составляющей на работу УЗО в цепях, в которых возможно появление такой составляющей или высокочастотного синусоидального тока, применяются специальные УЗО типа В, у которых дифференциальный трансформатор выполнен по специальной технологии. Мизерная мощность, снимаемая с такого дифференциального трансформатора, очень затрудняет реализацию УЗО на электромеханическом принципе, в котором эта мощность используется для перемещения подвижных частей расцепителя. Поэтому большинство компаний, занятых производством УЗО, или не выпускают вообще устройств типа В, или выпускают их в виде электронных, а не электромеханических устройств. Стандарт [13] оговаривает верхнюю границу частоты синусоидального тока, на который в дополнение

Таблица 3. Время размыкания УЗО различных типов при разных кратностях дифференциального тока в соответствии со стандартом МЭК 61008-1 (таблица 1)

Тип УЗО	Время размыкания УЗО при различных кратностях дифференциального тока I _{DIFF} (действ.), мс					
	I _{DIFF}		2I _{DIFF}		5I _{DIFF}	
	min	max	min	max	min	max
G	–	300	–	150	–	40
S	130	500	60	200	50	150

Таблица 4. Ошибочная классификация типов срабатывания УЗО по времени срабатывания [21]

Тип УЗО	Время отключения, с	I _{ΔN}			
		I _{ΔN} = I _{ΔN}	I _{ΔN} = 2I _{ΔN}	I _{ΔN} = 5I _{ΔN}	I _{ΔN} = 500I _{ΔN}
–	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

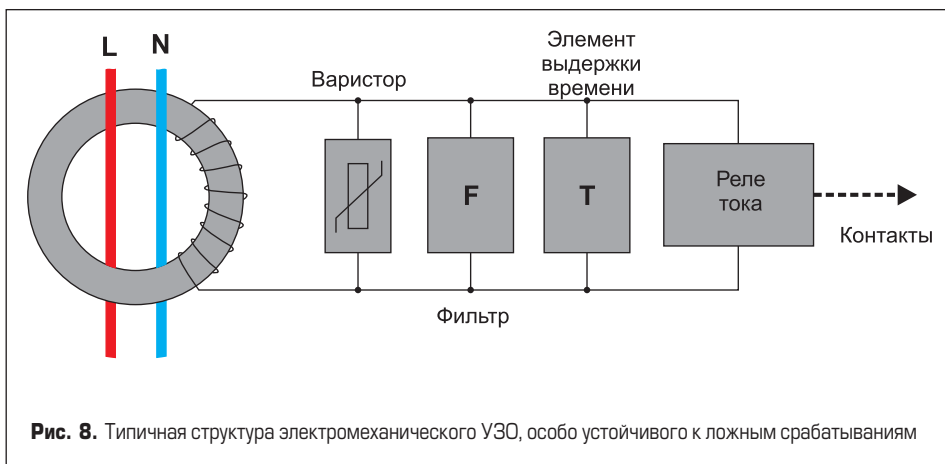


Рис. 8. Типичная структура электромеханического УЗО, особо устойчивого к ложным срабатываниям

к постоянному, пульсирующему и переменному току должны быть рассчитаны УЗО типа В, на уровне 1000 Гц. Большинство производителей устройств этого типа гарантируют их работу при частотах до 2000 Гц, а устройств типа В+ даже до 20 кГц. УЗО типа В является наиболее универсальным из всех типов УЗО, но и наиболее дорогим.

Правильный выбор типа УЗО — залог предотвращения ложных срабатываний

В реальных условиях эксплуатации может возникнуть ситуация, когда какой-то отдельный полностью исправный экземпляр УЗО в группе других УЗО такого же типа, установленный в том же щите, в цепи питания аналогичных потребителей будет иметь реальный ток срабатывания вдвое меньший номинального (что вполне допускается стандартами). В этом случае при воздействии каких-то неблагоприятных факторов, не вызывающих срабатывания других УЗО, таких как гармоники, импульс тока, вызванный импульсным перенапряжением и срабатыванием разрядника, фоновым током утечки, этот экземпляр УЗО может ложно сработать. Более того, если воздействие неблагоприятных факторов повторится, то ложные срабатывания этого отдельного экземпляра УЗО в группе других аналогичных устройств, установленных рядом, также могут повториться. Для исправления ситуации иногда бывает достаточно просто заменить этот экземпляр УЗО аналогичным устройством такого же типа, реальный ток срабатывания

которого окажется выше, чем экземпляра с ложными срабатываниями.

В некоторых случаях ложные срабатывания УЗО происходят из-за случайного наложения событий, каждое из которых само по себе не вызывает ложного срабатывания. Например, если при наличии некоторого постоянного уровня гармоник в сети, не вызывающего срабатывания УЗО, через него пройдет мощный импульс тока (который сам по себе тоже не вызывает его срабатывания), то УЗО может ложно сработать и отключить потребителя. Даже такие совершенные и универсальные устройства, как УЗО типа В, могут быть подвержены ложному срабатыванию из-за воздействия значительных импульсных токов или фонового тока утечки.

Для обеспечения надежного электроснабжения потребителей и гарантированного исключения даже случайных ложных срабатываний УЗО в электрических сетях с пониженным качеством электроэнергии они должны быть выбраны заранее, на стадии проектирования, со специальной характеристикой, обеспечивающей защиту от воздействия гармоник, импульсных токов, фоновых токов утечки. Если пониженное качество электроэнергии не было запланировано заранее, а оказалось фактически таковым или снизилось при замене (добавлении) каких-то потребителей, то установленные ранее УЗО обычных типов (АС, А) должны быть заменены на УЗО специальных типов (F, В, U, К).

Аналогичная ситуация может возникнуть в процессе длительной эксплуатации электроустановки, когда вследствие процесса есте-

ственной деградации изоляции или ее загрязнения (увлажнения) произошло постепенное увеличение фоновых токов. Такие специальные типы УЗО выполняются обычно на базе стандартных электромеханических устройств типа А, которые снабжаются встроенными варисторами, фильтрами, элементами выдержки времени на основе RC-цепочки, а также имеют повышенное до 0,75–0,8 номинального значение минимального дифференциального тока срабатывания (рис. 8). Электронные УЗО значительно более разнообразны по конструкции, и по своим функциональным возможностям, но они имеют определенные ограничения в применении, о которых уже упоминалось выше.

Поиск устройств, удовлетворяющих этим требованиям, среди многих десятков типов УЗО, производимых многими компаниями, привел к следующим результатам (таблица 5). Как правило, УЗО одного и того же типа, обладающие аналогичными параметрами, производятся для номинальных токов 25, 40, 63 А в двухполюсном (для однофазных сетей) и четырехполюсном (для трехфазных сетей) исполнении. С целью экономии места в таблице 5 в качестве примера приведены лишь параметры УЗО с номинальным током 40 А и в четырехполюсном исполнении.

С сожалением следует констатировать, что даже последняя редакция основного стандарта по УЗО [11] некорректно трактует классификацию УЗО по степени устойчивости к ложным срабатываниям. Так, по версии [11] устройства с нормальной устойчивостью к ложным срабатываниям относятся к типу G (general), а устройства с повышенной устойчивостью к ложным срабатываниям — к типу S (selective). Совершенно очевидно и естественно, что устройства типа S, которые выпускаются на дифференциальные токи срабатывания, лежащие в пределах 100–300 мА и выше, будут более устойчивы к ложным срабатываниям, чем устройства типа G с токами срабатывания 10–30 мА. Но, как было показано выше, устройства типа S не могут использоваться для защиты человека от поражения электрическим током. Это значит, что, согласно [11], устойчивых к ложным срабатываниям УЗО, предназначенных для защиты людей, просто не существует в природе. Похоже, что составителей основного международного стандарта по УЗО такая ситуация вполне устраивает, поскольку эта формулировка присутствует

Таблица 5. Некоторые основные технические параметры УЗО типа G (general), особо устойчивых к ложным срабатываниям

Тип УЗО и производитель	Тип защиты	Номинальный ток, А	Дифференциальный ток срабатывания, I _{ΔN} мА	Вид привода	Время задержки, мс (при I = I _{ΔN})	Количество полюсов
dRCM-40/4/003-U+Кат. номер 120850 Eaton (Moeller)	U	40	30	Электронный	10	4
F374-40/0.03 ABB	A-F	40	30	Электромеханический	10	4
F204 A-40/0.03 ABB	AP-R	40	30		10	4
DFS 4F Кат. номер 09 134 901 Doepke Schaltgeräte GmbH & Co.	A-F	40	30		10	4
5SM3 344-3 Siemens	F-K	40	30		10	4
4RC440SI30 (Clipsal) Schneider Electric	SI	40	30		нет сведений	4
FRCdM-40/4/003-G/B+Кат. номер 167881 Eaton (Moeller)	G/B+	40	30	Электронный	10	4
5SM3 344-4 Siemens	B	40	30		10	4



Рис. 9. Различные типы устройств АПВ для УЗО (некоторые показаны совместно с УЗО)

в стандарте уже много лет и переключивается из одной редакции в другую. Однако данные, приведенные в таблице 5, показывают несовершенство классификации, предлагаемой этим стандартом.

Автоматическое повторное включение УЗО — дополнительная возможность повышения надежности электроснабжения потребителей

Автоматическое повторное включение (АПВ) УЗО нельзя назвать средством предотвращения ложных срабатываний, скорее это средство исправления результатов ложных срабатываний; тем не менее УЗО с АПВ может оказаться очень эффективным решением проблемы в тех случаях, когда потребители допускают кратковременные перерывы электропитания. Наиболее просто функция АПВ реализуется в некоторых типах электронных УЗО. Для возврата в исходное состояние УЗО электромеханического типа приходится встраивать в него специальный моторный привод, требующий, естественно, наличия отдельного источника питания. Некоторые компании выпускают устройства АПВ в виде отдельных блоков, устанавливаемых рядом с УЗО различных типов и возвращающих последние после срабатывания в исходное состояние путем симуляции действия человеческой руки с помощью специального выступающего пластмассового толкателя.

Компания АBB снабжает свое устройство АПВ также специальным небольшим трансформатором, устанавливаемым на DIN-рейке рядом с УЗО и обеспечивающим питание привода АПВ от питающей сети. Некоторые типы перечисленных выше разновидностей устройств АПВ показаны на рис. 9.

Большинство типов устройств АПВ допускают возврат УЗО в исходное состояние по выбору: автоматически с небольшой выдержкой времени или дистанционно, по ко-

манде. Такие устройства выпускаются компаниями АBB, Schneider Electric, Legrand, Hager, CIRCUTOR, Aoelec и др.

Литература

1. IEC 60364-4-41: 2005. Low-voltage electrical installation. Part 4-41: Protection for safety. Protection against electric shock, ed. 5.
2. ГОСТ Р 50571.3-2009 «Электроустановки низковольтные. Часть 4-41: Требования безопасности. Защита от поражения электрическим током».
3. IEC 60364-4-42: 2010. Low-voltage electrical installations. Part 4-42: Protection for safety. Protection against thermal effects.
4. ГОСТ Р 50571.4-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий».
5. Czapp S. The Effect of Earth Fault Current Harmonics on Tripping of Residual Current Devices // Intern. School on Non-sinusoidal Currents and Compensation. IEEE, 2008.
6. Czapp S. Analysis of the Residual Current Devices Independent Trip for the Residual Current Frequency Higher than Rated Value // XIII International Scientific Conference Present-Day Problems of Power Engineering APE'07. Gdansk-Jarata. Vol. 4. 13–15 June 2007.
7. Czapp S. The Impact of Higher-Order Harmonics on Tripping of Residual Current Devices // Power Electronics and Motion Control Conference. 2008.
8. Yu Xiang., Cuk V., Cobben J. F. G. Impact of Residual Harmonic Current on Operation of Residual Current Devices // 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering. Rome, Italy. 8–11 May, 2011.
9. Yu Xiang, Wong X. H, Chen M. L. Tripping Characteristics of Residual Current Devices Under Non-sinusoidal Currents // Industry Applications Society Annual Meeting (IAS). 2010 IEEE. 3–7 October, 2010.

10. Freschi F. High Frequency Behavior of Residual Current Devices // IEEE Transaction on Power Delivery. Vol. 27. № 3. July 2012.
11. IEC 61008-1: 2012. Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs). General rules, ed. 3.1.
12. ГОСТ Р 51326.1-99 «Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний».
13. IEC 62423: 2009. Type F and type B residual current operated circuit-breakers with and without integral overcurrent protection for household and similar uses, ed. 2.
14. IEC/TR 60755: 2008. General requirements for residual current operated protective devices, ed 2.
15. IEC/TR 62350: 2006. Guidance for the correct use of residual current-operated protective devices (RCDs) for household and similar use.
16. Гуревич В. И. Устройства электропитания релейной защиты. Проблемы и решения. М.: Инфра-Инженерия. 2013.
17. Отвечаем на вопросы читателей. Портал журнала «Новости электротехники» www.news.elteh.ru/arh/2001/7/08.php
18. СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий». 2007.
19. IEC 60364-5-53: 2001. Electrical installations of buildings. Part 5-53. Selection and erection of electrical equipment // Isolation, switching and control. Ed. 3.
20. Low leakage current EMC filters. Full compatibility with residual current circuit breakers sensitive to all current types. Schaffner.
21. Штефан Ф. Устройства защитного отключения, управляемые дифференциальным током. Прага. 2000. (Перевод и издание ОАТ «Киевпромэлектропроект».)