

Особенности применения УЗИП – тема новой публикации в цикле, посвященном защите оборудования от воздействия импульсных токов и напряжений. Сами УЗИП, роль которых в электрических цепях заключается в пропускании через себя импульсных токов для уравнивания потенциалов между несколькими проводниками питающей линии, должны иметь защиту от сверхтоков.

В первой части статьи Алексей Леонидович Зоричев останавливается на особенностях применения предохранителей в цепях подключения УЗИП.

ЦЕПИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ УЗИП Особенности защиты от сверхтока

УЗИП, как и любой другой элемент электрических цепей, может повреждаться при работе в режимах, не предусмотренных его техническими характеристиками. Это происходит, например, если фактический ток разряда через УЗИП превышает его максимальное паспортное значение или когда напряжение в сети в течение длительного времени превышает максимально допустимое рабочее напряжение U_c УЗИП. Если УЗИП в данной цепи не рассчитан на такое напряжение, то он откроется и окажется в режиме короткого замыкания (КЗ). И в первом, и во втором вариантах возникает вероятность разрушения УЗИП, повреждения изоляции подключенных к нему проводников и других расположенных вблизи от УЗИП элементов электроустановки, а также возникновения в ней пожара.

Практика показывает, что в подобных ситуациях внутренние расцепители УЗИП не всегда успевают отреагировать из-за тепловой инерционности конструкции. Варистор, как правило, разрушается в течение нескольких секунд, после чего режим КЗ может сохраняться через дугу (по продуктам разрушения и горения). В конструкции разрядников тепловые расцепители обычно вообще не предусматриваются ввиду слабой эффективности. При этом, если в разряднике есть система индикации его выхода из строя, то она дает информацию только о повреждениях в цепи управления поджигающим электродом, а не о состоянии основного искрового промежутка.

Как правило, эта цепь состоит из малогабаритных элементов: варистора, двухэлектродного разрядника и импульсного трансформатора. Эти элементы дают возможность увеличить расстояние между электродами основного искрового промежутка и соответственно поднять максимальное рабочее напряжение U_c разрядника, что заявляется производителем как существенное повышение потребительских качеств изделия. Также говорится о снижении времени реагирования t_a на величину менее 100 нс, что позволяет достигнуть значения уровня напряжения защиты U_p менее 2,5 кВ при ряде импульсных воздействий и отнеси разрядник к УЗИП условного класса I+II. Однако при несомненных плюсах эти элементы являются самым слабым местом конструкции: они повышают сложность и стоимость разрядника, снижая при этом его надежность.

В условиях жесткой конкуренции неоднократно звучат уверения тех или иных производителей УЗИП в том, что их изделия полностью защищены от последствий описанных выше аварийных ситуаций. Но это не подтверждается практикой.

ИСПЫТАНИЕ УЗИП

УЗИП для силовых низковольтных распределительных сетей всех без исключения производителей, согласно пп. 7.7 и 7.8 [1], должны проходить испытания на безопасную работоспособность, в ходе которых УЗИП подвергаются перегрузке токами и напряжениями, повышенными относительно номинальных значений. Перед испытаниями УЗИП помещают в ящик, выложенный внутри марлей или папиросной бумагой, которые при повреждении образца не должны загореться, а аварийные режимы работы УЗИП должны быть прекращены предусмотренными производителем разъединителями – внутренним (например терморасцепитель) или внешним (предохранитель или автоматический выключатель). Также, после испытаний



Алексей Зоричев,
технический директор,
начальник испытательной
лаборатории ЗАО «Хакель Рос»,
г. Санкт-Петербург

не должно быть повреждений корпуса УЗИП, нарушающих условия электробезопасности. Параметры воздействия, указанные в [1], одинаковы для однотипных УЗИП всех производителей. Например, для УЗИП, устанавливаемых в системе TN, в цепях L-N или L-PE значение временного испытательного перенапряжения U_T должно быть не менее $U_o \cdot 1,45$ в течение не менее 5 секунд (где U_o – номинальное напряжение системы переменного тока). То есть для $U_o = 230$ В переменного тока 50 Гц: $U_T = U_o \cdot 1,45 = 230 \cdot 1,45 = 333,5$ В ≈ 335 В в течение 5 с.

В пределах данного диапазона перенапряжения и времени воздействия УЗИП считаются безопасными для стороннего оборудования, размещенного рядом с ними, при этом само УЗИП может выйти из строя. Но что произойдет с УЗИП, если напряжение превысит 335 В или время воздействия будет больше 5 секунд, стандарт [1] не рассматривает, а практика бывает непредсказуемой.

Опыт и статистика применения потребителями УЗИП в реальных условиях эксплуатации на промышленных и общегражданских объектах показали, что уровни воздействия, предусмотренные [1], могут быть превышены как из-за неправильного подбора типов УЗИП, так и под влиянием других объективных факторов. Неоднократно фиксировались случаи взрывного разрушения УЗИП разных типов и конструкций, как отечественных, так и зарубежных производителей, что на практике показало отсутствие исключений из правил в данном вопросе. Подобные факты имели место при грозовых воздействиях на оборудование базовых станций сотовой связи. На объектах ОАО «РЖД» от длительных воздействий аварийных токов и напряжений при обрывах и коротких замыканиях контактной сети выходило из строя оборудование железнодорожной автоматики и телемеханики, что в некоторых случаях даже приводило к пожарам в служебных зданиях и помещениях.

В настоящее время ОАО «РЖД» при вводе в эксплуатацию нового оборудования требует от его разработчиков размещения УЗИП в отдельных закрытых металлических конструкциях, которые в аварийных ситуациях не допускают распространения продуктов горения и разрушения УЗИП.

Аналогичные решения по размещению УЗИП в отдельных металлических щитках или в местах, отгороженных негорючей и механически прочной перегородкой (при установке в секционных шкафах или щитах), можно порекомендовать проектным организациям и производителям щитового оборудования для повышения защищенности электротехнического оборудования и надежности его работы на объектах повышенной опасности.

Описанные выше аварийные режимы работы электроустановок могут быть минимизированы благодаря грамотному применению совместно с УЗИП различных устройств защиты от сверхтока, таких как плавкие вставки (предохранители), автоматические выключатели и УЗО (УДТ). Стандарт [2] предоставляет информацию о некоторых режимах совместной работы УЗИП и устройств защиты от сверхтока. В данном случае учитывается не только возникновение в электроустановке аварийных токов из-за повреждения УЗИП или выхода его в режим повреждения при временных перенапряжениях, но и прохождение через устройства защиты от сверхтоков

Типовые характеристики предохранителей

Таблица 1 •

Номинальный ток предохранителя	Значения интеграла Джоуля и амплитуды импульсных токов							
	Для цилиндрических предохранителей. Характеристика gG				Для ножевых предохранителей NH типа. Характеристика gG			
	Интеграл Джоуля I ² t	Расчетное значение тока 8/20 мкс	Экспериментальное значение тока 8/20 мкс	Отношение	Интеграл Джоуля I ² t	Расчетное значение тока 10/350 мкс	Экспериментальное значение тока 10/350 мкс	Отношение
А ² с	кА	кА	А ² с		кА	кА		
25	800	7,6	5	0,66				
32	1300	9,6	7	0,73				
40	2500	13,4	10	0,75				
63	7500	23,1	17	0,73				
80	14500	32,2	25	0,78				
100	24000	41,4	30	0,72	20000	8,8	5	0,57
125	40000	53,4	40	0,75	33000	11,3	7	0,62
160					60000	15,3	10	0,65
200					100000	19,75	15	0,76
250					200000	27,93	20	0,72
315					300000	34,21	25	0,73

импульсных токов при срабатывании УЗИП в диапазоне их заявленных параметров: I_n, I_{max} или I_{имп}.

Координация УЗИП с предохранителями, автоматическими выключателями или УЗО осуществляется по-разному. Для предохранителей существуют расчетные и экспериментальные значения номиналов плавких вставок, которые соответствуют значениям воздействующих на них импульсных токов разной длительности и амплитуды. Для автоматических выключателей считается, что координация с УЗИП происходит тогда, когда при паспортном номинальном импульсном разрядном токе I_n УЗИП, протекающем через цепочку «ввод электропитания объекта – устройство – УЗИП – земля», это устройство защиты от сверхтока не срабатывает. Однако при токах, превышающих значение I_n, допускается, что автомат может сработать. Было бы желательно, чтобы взводимые устройства защиты от сверхтока не повреждались импульсными токами, т.е. могли бы быть повторно включены. Практика и результаты испытаний показали, что, к сожалению, это не всегда выполняется.

Благодаря тому что автоматический выключатель или УЗО срабатывают только через определенное время (в отличие от предохранителя), через них успевают пройти полностью весь импульс тока, даже если они при этом отключаются. Это подтверждено серией экспериментов в испытательной лаборатории на генераторах импульсных токов (ГИТ) с импульсами тока волны 8/20 и 10/350 мкс. Воздействиям подвергались плавкие вставки и автоматические выключатели разных моделей и производителей, с различными времятоковыми характеристиками, номинальными токами, уставками и отключающей способностью.

В процессе испытаний (рис. 1) импульсные токи пропускались в различных комбинациях: только через устройство защиты от сверхтоков; через цепочки, состоящие из последовательно включенных с ними УЗИП ограничивающего (варисторы) или коммутирующего (разрядники) типа.

В канале 1 осциллографа через делитель напряжения фиксировалось остающееся напряжение U_{res} на испытываемой цепочке. В канале 2 при помощи измерительного трансформатора фиксировались амплитудные значения импульсных токов I_n, I_{max} или I_{имп} через УЗИП и устройство защиты от сверхтока. На осциллограмме данное значение отображалось в виде эквивалентной кривой напряжения 1 В ↔ 1 кА.

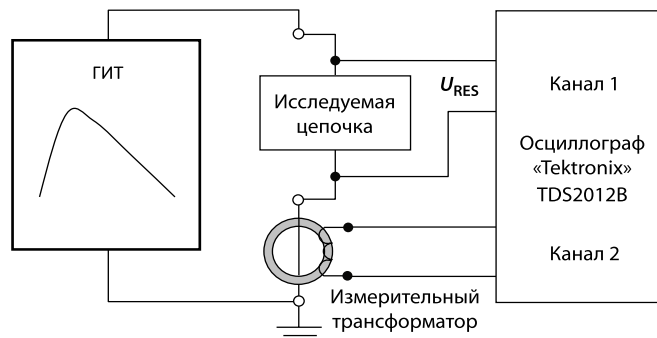
Частичные результаты испытаний и выводы приведены в следующих разделах статьи.

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ В СХЕМАХ С УЗИП

Применение предохранителей совместно с УЗИП разных классов с различными импульсными характеристиками рас-

Схема для испытаний устройств защиты от сверхтоков на устойчивость к прохождению импульсных токов волны 8/20 и 10/350 мкс

Рис. 1 •



смотрено в Приложении «Р» стандарта ИЕС 61643-12 (2008-11) [3]. Действующий в России нормативный документ [2] идентичен предыдущей версии стандарта МЭК (ИЕС 61643-12(2002)), в котором этого приложения не было.

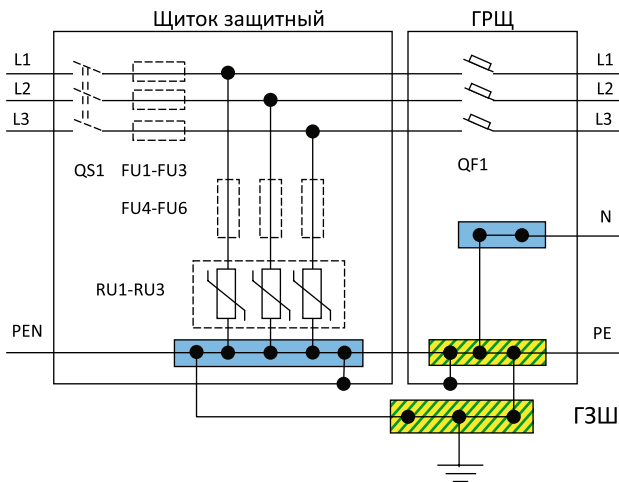
Приложение «Р» рассматривает возможность применения предохранителей совместно с УЗИП, основываясь на характеристике теплового действия тока, которое вызывает расщепление предохранителя. Эта характеристика называется интегралом Джоуля – I²t, представляет собой интеграл квадрата силы тока по данному интервалу времени (t₀, t₁) и рассчитывается по формуле:

$$I^2t = \int_{t_0}^{t_1} I^2 dt.$$

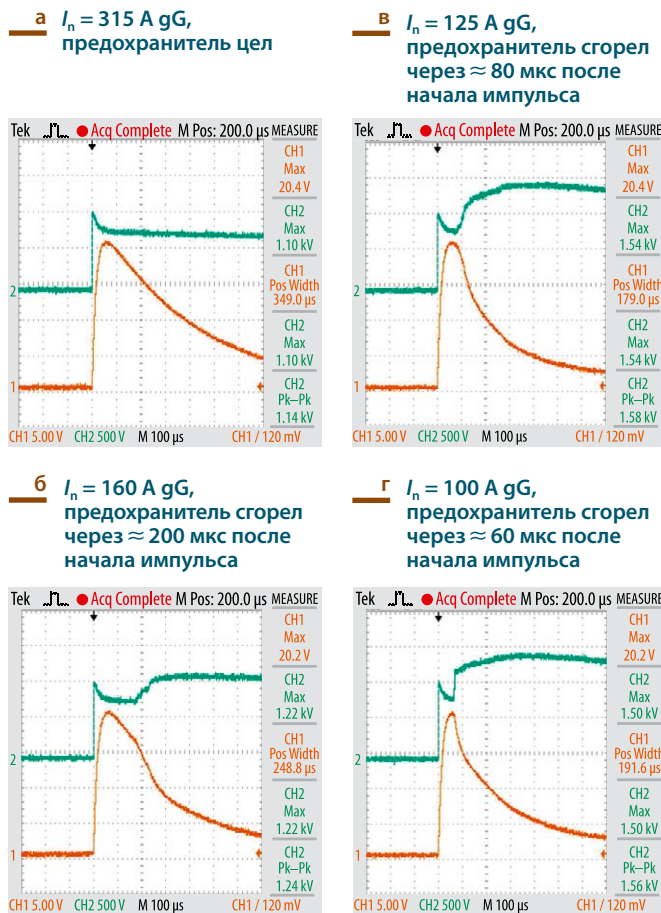
Результаты исследований были сведены в [3] в таблицу Р.1 Приложения «Р» (табл. 1), в которой сопоставляются основные типы конструктивного исполнения и номиналы предохранителей со значениями импульсных токов волн 8/20 и 10/350 мкс. Таким образом, зная, какова возможность УЗИП пропускать без повреждения или разрушения импульсные токи, можно подобрать к ним предохранители с характеристиками срабатывания gG, которые будут пропускать такие же импульсные токи без расщепления.

При этом следует отметить, что в колонке «расчетное значение» указаны значения токов при однократном воздействии, а в колонке «экспериментальное значение» указаны токи, полученные в цикле рабочих испытаний УЗИП согласно [1], где сказано, что УЗИП должны испытываться в комплексе ▶

• Рис. 2. Схема электроустановки с предохранителями



• Рис. 3. Осциллограммы работы предохранителей при воздействии импульсными токами



► с предусмотренными производителем устройствами защиты от сверхтоков. Данные, полученные при таких испытаниях, привели к необходимости снижения первоначальных расчетных номиналов предохранителей. В испытательной лаборатории были выборочно проведены эксперименты, которые подтвердили данные Таблицы Р.1 из Приложения «Р».

Номиналы предохранителей и тип их времятоковых характеристик определяются производителем УЗИП и отражаются в технической документации. Обычно используются предохранители с характеристикой gG. Время их срабатывания значительно меньше, чем у автоматических выключателей тех же номиналов. При этом предохранители более стойки к значительным импульсным токам, имеют более простую и надежную конструкцию.

Рассмотрим вариант включения предохранителей в схему электроустановки (рис. 2). Допустим, что максимальный ток растекания при грозовом разряде для данного объекта составляет 25 кА волны 10/350 мкс в каждом проводе питающей линии. Для защиты выбраны соответствующие по импульсным характеристикам УЗИП. Далее для данного схемного решения необходимо подобрать предохранители. Для волны 10/350 мкс экспериментальное значение тока с амплитудой 25 кА соответствует предохранителю номиналом 315 А (см. табл. 1).

Таким образом:

- При номинале FU1–FU3 более 315 А gG, номиналы FU4–FU6 выбираются равными 315 А gG;
- При номинале FU1–FU3 менее 315 А gG, FU4–FU6 можно не устанавливать, обязательно учитывая тот факт, что перегорание FU1–FU3 приведет к отключению не только УЗИП, но и самого потребителя. При этом импульсный ток в цепи питания потребителя оборвется, что после замены сгоревших предохранителей обеспечит его последующую работоспособность.
- При номинале FU1–FU3 менее 315 А gG и принятии решения об установке FU4–FU6 (с учетом селективности цепи), под воздействием импульсного тока $I_{\text{имп}} = 25 \text{ кА}$ (10/350 мкс) будут в первую очередь перегорать FU4–FU6. При отключении FU4–FU6 соответственно будут отключаться от защищаемой цепи и сами УЗИП, т.е. защита будет теряться. С учетом того, что время жизни предохранителя в зависимости от амплитуды и длительности импульсного тока так же является величиной переменной, сложно сказать, какая часть импульса при этом будет попадать непосредственно в оборудование после отключения цепочки «FU4–FU6 – УЗИП» и до момента отключения FU1–FU3 и вызовет ли этот ток повреждение оборудования.
- При полном отсутствии предохранителей перед точкой подключения УЗИП ответственность за отключение в нем КЗ возлагается на устройство защиты от сверхтока, находящееся ранее по ходу электрической энергии в данной питающей линии. Либо, как и в предыдущем случае, возможна установка FU4–FU6. Их номинал в данной ситуации должен зависеть как от величины ожидаемых импульсных токов, так и от значения расчетных токов КЗ в точке установки УЗИП. При маленьких токах КЗ от установки предохранителей следует отказаться.

На осциллограммах (рис. 3) желтым показаны кривые срабатывания предохранителей при воздействии $I_{\text{имп}} = 20 \text{ кА}$ (10/350 мкс). Особенностью данного эксперимента было то, что защищаемая нагрузка была смоделирована в виде резистора с малым сопротивлением, включенного параллельно цепочке «предохранитель – УЗИП – земля». Импульсный ток рассчитывался с учетом этого резистора так, чтобы импульс 20 кА протекал именно через испытываемую цепь при ее нормальной работе. Это видно по кривой остающегося на нагрузке напряжения, выделенной зеленым цветом. При сгорании предохранителя напряжение на клеммах нагрузки поднимается. В данных испытательных режимах корпуса предохранителей физически не разрушались.

При попытке испытать предохранитель с $I_n = 25 \text{ A gG}$ он был разрушен на отдельные фрагменты с выделением энергии в виде пламени и разлета осколков, что является крайне опасным как для оборудования, так и для обслуживающего персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51992-2011 (МЭК 61643-1:2005): Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 1. (...) Технические требования и методы испытаний.
2. ГОСТ Р МЭК 61643-12:2011: Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 12. (...) Принципы выбора и применения.
3. IEC 61643-12 (2008-11): Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles. Edition 2.0.

В следующем номере журнала будет опубликована вторая часть статьи, посвященная особенностям применения в цепях подключения УЗИП автоматических выключателей и УЗО. ■