

Данная публикация открывает серию статей, посвященных вопросам защиты оборудования от воздействия импульсных токов и напряжений, возникающих при грозах или коммутационных процессах в электрических сетях.

В первом материале цикла Алексей Леонидович Зоричев подробно разбирает основные стандарты, регулирующие в настоящее время применение устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП).

## УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

### Особенности и требования современной нормативной базы



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

Статистические и практические данные, полученные автором за многие годы совместной работы с проектными и эксплуатационными организациями различных отраслей экономики, говорят о существовании ряда проблем и противоречий, проявляющихся при выборе и применении УЗИП для защиты электротехнического оборудования, которое должно исправно функционировать в условиях воздействия импульсных токов и напряжений.

Одна часть этих проблем обусловлена несовершенством нормативной базы, допускающей неоднозначную трактовку требований к оборудованию, а другая – неправильным пониманием потребителем (а в некоторых случаях и производителем) существующих стандартов.

#### ОСНОВНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЗИП

УЗИП при правильном (комплексном) подходе к решению задач защиты от грозовых воздействий становятся частью внутренней системы молниезащиты объекта. К внутренним системам молниезащиты относятся также системы заземления, уравнивания и выравнивания потенциалов, экранирующие конструкции и другие технические решения для обеспечения рабочей электромагнитной обстановки внутри объектов.

Общие вопросы по данной теме рассмотрены в стандартах МЭК серии IEC-62305 (2010) «Защита от удара молнии» и в главе 4 «Инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО-153-34.21.122-2003.

С 01.07.2012 введен в действие ГОСТ Р 50571-4-44-2011 «Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех». Новый стандарт содержит требования IEC 60364-4-44(2007) и заменил ряд важных, но устаревших стандартов: ГОСТ Р 50571-18-2000, ГОСТ Р 50571.19-2000, ГОСТ Р 50571.20-2000. Стандарт рассматривает вопросы устойчивости электроустановок зданий и сооружений к воздействию длительных (временных) и импульсных перенапряжений, вызванных коммутационными или грозовыми процессами.

С 01.01.2013 введен в действие ГОСТ Р 50571.5.54-2011/МЭК 60364-5-54:2002 «Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и проводники уравнивания потенциалов». Документ заменил устаревшие ГОСТ Р 50571.10-96 и ГОСТ Р 50571.21-2000. Стандарт рассматривает основные требования к материалам и сечению заземляющих электродов и проводников, способам их соединения, а также общие правила выполнения системы уравнивания потенциалов внутри объекта.

Вопросы испытания и применения УЗИП подробнее рассмотрены в серии стандартов МЭК – IEC 61643. Далее перечислены основные стандарты этой серии.

С 01.07.2012 введена в действие обновленная редакция ГОСТ Р 51992-2011 (МЭК 61643-1-2005) «Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 1. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Технические требования и методы испытаний» взамен одноименного ГОСТ Р 51992-2002 (МЭК 61643-1-98). При этом следует отметить, что в основе нового российского стандарта лежит стандарт IEC 61643-1-2005, который в МЭК уже заменен стандартом IEC 61643-11:2011.

С 01.01.2013 введен в действие стандарт ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011 «Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 12. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Принципы выбора и применения». Стандарт идентичен IEC 61643-12(2002). В МЭК данный стандарт заменен стандартом IEC 61643-12 ed2.0 (2008-11).

С 01.07.2013 введен в действие ГОСТ Р 54986-2012 (МЭК 61643-21:2009) «Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 21. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в системах телекоммуникации и сигнализации (информационных системах). Требования к работоспособности и методы испытаний». В МЭК рассматриваемый стандарт в 2012 г. был заменен на стандарт IEC 61643-21(2012-07).

Кроме того, планируется издание в системе ГОСТ Р стандарта IEC 61643-22 «Устройства для защиты от импульсных перенапряжений в системах телекоммуникации и сигнализации (информационных системах). Принципы выбора и применения».

Общие принципы применения УЗИП изложены в ГОСТ Р 50571.26-2002 (МЭК 60364-5-534-97) «Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Раздел 534. Устройства для защиты от импульсных перенапряжений». С 01.01.2015 данный стандарт будет заменен на ГОСТ Р 50571.5.53-2013/МЭК 60364-5-53:2002 «Электроустановки низковольтные. Часть 5-53. Выбор и монтаж электрооборудования. Отделение, коммутация и управление», который значительно упростит выбор типа УЗИП для большинства стандартных проектных решений и определит правила подключения устройств и требования к схемотехнике.

Приведенные данные показывают, что в области применения УЗИП отставание российских стандартов от международных составляет приблизительно 4–6 лет. Еще один недостаток стандартов МЭК, гармонизированных с системой ГОСТ Р, – не всегда высокое качество технического перевода и, как следствие, ошибки в указании размерности физических величин (токов, напряжений, временных параметров и др.) и в описании алгоритмов испытаний, что требует повышенного внимания при использовании данных нормативных документов.

Для правильного понимания основных требований к УЗИП и к их параметрам рассмотрим некоторые положения и формулировки из перечисленных стандартов.

## КЛАССИФИКАЦИЯ УЗИП

Согласно определению, приведенному в ГОСТ Р 51992-2011 (МЭК 61643-1-2005): «Устройство защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) – это устройство, которое предназначено для ограничения переходных перенапряжений и для отвода импульсов тока. Это устройство содержит, по крайней мере, один нелинейный элемент». В качестве элементной базы для создания УЗИП, как правило, используют разрядники различных типов, оксидно-цинковые варисторы и полупроводниковые элементы.

УЗИП классифицируются по ряду признаков в зависимости от их назначения, конструкции, а также от классов испытаний, которым они подвергаются в соответствии с ГОСТ Р 51992-2011 (МЭК 61643-1-2005):

- УЗИП, испытанные по классу I, предназначены для защиты от прямых ударов молнии в систему молниезащиты здания (объекта) или воздушную линию электропередачи. Устанавливаются на вводе в здание (объект), во вводно-распределительном устройстве (ВРУ) или главном распределительном щите (ГРЩ). Нормируются пиковым значением тока  $I_{peak}$ , зарядом  $Q$  и удельной энергией  $W/R$ . Для испытаний используются: импульсный ток  $I_{imp}$  с формой волны 10/350 мкс, номинальный разрядный ток  $I_n$  с формой волны 8/20 мкс и импульс напряжения с формой волны 1,2/50 мкс;
- УЗИП, испытанные по классу II, предназначены для защиты короткораспределительной сети объекта от коммутационных помех или как вторая ступень защиты при ударе молнии. Устанавливаются в распределительных щитах. Нормируются и испытываются номинальным разрядным током  $I_n$ , максимальным разрядным током  $I_{max}$  с формой волны 8/20 мкс и импульсом напряжения с формой волны 1,2/50 мкс;
- УЗИП, испытанные по классу III, предназначены для защиты потребителей от остаточных перенапряжений после срабатывания УЗИП первой и второй ступеней защиты, от наводок во внутренней распределительной сети объекта при ее большой протяженности и фильтрации высокочастотных помех (в случае конструктивного совмещения УЗИП с фильтром). Устанавливаются непосредственно возле потребителя. Нормируются и испытываются комбинированной волной напряжения и тока 1,2/50 мкс – 8/20 мкс соответственно.

Обычно термин «класс испытаний УЗИП» заменяется в технической документации и каталогах сокращенным термином «класс УЗИП», но стандарт говорит именно о классе испытаний. Поэтому производителю может для конкретной модели УЗИП провести испытания по методикам, предусмотренным для всех трех классов, получить положительные результаты и отразить это в документации и маркировке УЗИП, что будет соответствовать стандарту. Главным в этом случае останется вопрос, обеспечивается ли координация уровня напряжения защиты УЗИП со стойкостью изоляции защищаемого оборудования в диапазоне всех заявленных классов испытаний.

Для понимания всех теоретических и практических тонкостей применения УЗИП необходимо помнить, что в основу большинства изданных в системе ГОСТ Р стандартов по защите от импульсных перенапряжений положены устаревшие версии стандартов МЭК. В результате это приводит к разночтению параметров УЗИП, представленных в технической документации зарубежных производителей: указанные параметры соответствуют требованиям последних редакций стандартов МЭК, но не имеют соответствующих определений в ГОСТ. Поэтому, используя УЗИП зарубежного производства, необходимо учитывать изменения, внесенные в последние версии оригинальных стандартов МЭК.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УЗИП ДЛЯ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

При выборе параметров УЗИП следует пользоваться формулировками, которые содержатся в ГОСТ Р 51992-2011 (МЭК 61643-1-2005). Ниже курсивом даны определения, дословно взятые из данного стандарта, далее разъяснена суть этих параметров и приведен расширенный комментарий автора с учетом изменений, отраженных в стандарте IEC 61643-11:2011 Low-voltage surge protective devices. Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems. Requirements and test methods.

**1. Номинальное напряжение переменного тока системы  $U_n$ : номинальное напряжение между фазой и нейтралью (действующее значение напряжения переменного тока) системы.** Параметр, имеющий косвенное отношение к УЗИП (стандарт не требует размещения данного параметра на корпусе устройства). Например, УЗИП с указанным в каталоге или паспорте параметром  $U_n = 230$  В может быть успешно применен в сети не только с данным рабочим напряжением, но и с более низким. Это не является стандартным решением, но техническая необходимость такого применения может реально существовать.

**2. Максимальное длительное рабочее напряжение  $U_c$ : максимальное напряжение действующего значения переменного или постоянного тока, которое длительно подается на выводы УЗИП. Оно равно номинальному напряжению.** Это наибольшее действующее значение напряжения переменного тока, которое может быть длительно (в течение всего срока службы) приложено к выводам защитного устройства. Напряжение  $U_c$  чаще всего указывается для действующего значения переменного тока. Таким образом, для получения максимального значения напряжения постоянного тока (соответствует амплитудному значению переменного тока) указанное производителем значение  $U_c$  нужно умножить на  $\sqrt{2}$  (то есть на 1,41).

Например, при указанном значении  $U_c = 275$  В максимальное значение напряжения постоянного тока будет равно:  $U_c \cdot \sqrt{2} = 275 \cdot 1,41 \approx 387$  В.

**3. Уровень напряжения защиты  $U_p$ : характеризует УЗИП в части ограничения напряжения на его выводах, величина которого выбрана из числа предпочтительных значений. Данное значение должно быть выше наибольшего из измеренных ограниченных напряжений.** Это максимальное значение падения напряжения на УЗИП при протекании через него импульсного тока разряда.

Для УЗИП, испытанных по классу I,  $U_p$  должно определяться при воздействии номинальным разрядным током  $I_n$  или импульсным током  $I_{imp}$  (какое значение будет выше). Для УЗИП, испытанных по классу II, – номинальным разрядным током  $I_n$ . Для УЗИП коммутационного типа (на основе разрядников), испытанных по классам I или II, помимо волн тока, проверка производится дополнительно волной напряжения формы 1,2/50 мкс с амплитудным значением 6 кВ. При неустойчивом срабатывании разрядника значение испытательного импульса поднимается до 10 кВ.

Для УЗИП класса III всех типов испытания проводятся комбинированной волной напряжения и тока 1,2/50 мкс – 8/20 мкс соответственно, с напряжением открытого (незамкнутого) выхода генератора  $U_{oc}$ , указанного изготовителем УЗИП.

В процессе испытаний исследуются три образца УЗИП. Из общего множества полученных значений в итоге выбирается максимальное, которое сравнивается с линейкой типовых значений, предлагаемых в ГОСТ Р 51992-2011. Из данных типовых значений выбирается ближайшее в сторону увеличения, которое впоследствии должно быть занесено в техническую документацию на УЗИП как  $U_p$ . Производитель УЗИП, указывая значения  $U_p$ , обязан четко обозначить, при каких волнах и значениях тока или напряжения они были получены.

**4. Импульсный ток  $I_{imp}$ : определяется тремя параметрами: пиковым значением тока  $I_{peak}$ , зарядом  $Q$  и удельной энергией  $W/R$ .** Применяется для испытаний УЗИП класса I. Согласно п. 7.1.1 ГОСТ Р 51992-2011 однополюсный испытательный импульсный ток должен достичь значения  $I_{peak}$  в течение 50 мкс, передача заряда  $Q$  должна произойти в течение 10 мс, удельная энергия  $W/R$  должна рассеяться за 10 мс.

Одним из возможных импульсов для проведения данных испытаний может быть импульс с формой волны 10/350 мкс, описывающий первый короткий удар в составе разряда молнии (ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010). Но это могут быть и другие формы волн, которые укладываются в указанные допуски при соответствующих перерасчетах заряда и удельной энергии. В стандарте IEC 61643-11:2011 время передачи заряда  $Q$  уменьшено до 5 мс.

► **5. Номинальный разрядный ток  $I_n$ : пиковое значение тока, протекающего через УЗИП, с формой волны 8/20. Применяют в классификации УЗИП при испытаниях класса II, а также при предварительной обработке УЗИП для испытаний классов I и II.** Ток данной величины защитное устройство должно выдерживать многократно. Импульс используется для определения уровня напряжения защиты устройства  $U_p$ . Кроме того,  $I_n$  является критерием при проверке исправности УЗИП во время прохождения различных циклов испытаний согласно ГОСТ Р 51992-2011.

**6. Максимальный разрядный ток  $I_{max}$  для испытаний класса II: пиковое значение тока, протекающего через УЗИП, имеющего форму волны 8/20 и величину согласно испытательному циклу в рабочем режиме испытаний класса II,  $I_{max} > I_n$ .** Согласно ГОСТ Р 51992-2011 данный параметр используется только для испытаний УЗИП класса II. На практике этот параметр часто указывается производителями совместно с параметрами класса I в качестве дополнительного для различных комбинированных УЗИП (например, УЗИП класса I+II). В этом случае  $I_{max}$  фактически указывает на то, что это есть пиковое значение испытательного импульса тока формы 8/20 мкс, который защитное устройство может пропустить как минимум однократно и не выйти из строя. Уровень защиты  $U_p$  для тока  $I_{max}$ , как правило, выше, чем указанный производителем  $U_p$  для токов  $I_n$  или  $I_{imp}$ .

**7. Ожидаемый ток короткого замыкания источника питания  $I_p$  (prospective short-circuit current of a power supply  $I_p$ ): ток, который протекал бы в данном месте цепи, если бы в этом месте она была замкнута накоротко проводником с незначительным сопротивлением.** Рассчитывается по методикам расчета токов КЗ в электроустановке. Этот параметр не имеет прямого отношения к свойствам конкретного УЗИП, но часто указывается производителями в каталогах и паспортах. Более правильно согласно ИЕС 61643-11:2011 указывать параметр  $I_{SCCR}$ , описанный ниже.

**8. Устойчивость к токам короткого замыкания (short-circuit withstand): максимальный ожидаемый ток короткого замыкания, который способен выдержать УЗИП (определение по ГОСТ Р 51992-2011).**

**Нормированный ток короткого замыкания (short-circuit current rating  $I_{SCCR}$ ): максимальный ожидаемый ток короткого замыкания от энергосистемы, который может выдержать УЗИП в комплекте со своим разъединителем (определение из п. 3.1.27 ИЕС 61643-11:2011, перевод с английского).**

Данный параметр дает представление о стойкости УЗИП к току КЗ, под воздействием которого оно может оказаться при его установке в той точке электрической цепи, где может возникнуть ток короткого замыкания со значением, заявленным производителем УЗИП.

Если рассмотреть вопрос более подробно, то ГОСТ Р 51992-2011 подразумевает испытание конструкции УЗИП на безопасное прохождение заявленного тока КЗ через соединительные клеммы, внутренние или внешние расцепители УЗИП (если они предусмотрены производителем), прочие соединения и заполняющие корпус материалы (компаунды, смолы и т.п.) при условии, что сам нелинейный элемент УЗИП заменен медной перемычкой с сечением, способным выдержать заявленный ток КЗ. Для потребителя УЗИП данная характеристика дает информацию о том, насколько опасным для окружающего оборудования или человека может быть повреждение (разрушение) УЗИП заявленным током КЗ.

**9. Номинальная отключающая способность сопровождающего тока  $I_n$  (follow current interrupting rating  $I_n$ , параметр для УЗИП на базе разрядников): ожидаемый ток короткого замыкания, который УЗИП в состоянии отключить самостоятельно (без дополнительного разъединителя).** Сопровождающий ток по физической сути – это ток, который протекает через разрядник после окончания импульса перенапряжения и поддерживается самим источником тока, то есть электрической силовой системой. Фактическое значение этого тока стремится к расчетному току короткого замыкания  $I_p$

(для данной конкретной электроустановки) непосредственно в точке установки разрядника.

Способность разрядника погасить горящую дугу определяется его конструктивными особенностями. Многие типы разрядников, в том числе газонаполненные, конструктивно не способны гасить сопровождающие токи даже с небольшими по меркам электроэнергетики значениями в несколько десятков ампер. Поэтому в цепях L-N и L-PE нельзя применять разрядники со значением  $I_n$ , которое меньше расчетного для этой точки электроустановки тока короткого замыкания ( $I_p$ ). В результате длительного воздействия сопровождающего тока в разрядниках не будет гаснуть дуга, они будут повреждены и могут вызвать пожар.

В данных цепях необходимо применять разрядники со значением  $I_n$ , превышающим расчетный ток короткого замыкания (обычно это значение 2–3 кА и выше). Для разрядников, устанавливаемых в цепь N-PE, параметр  $I_n$  должен быть не менее 100 А.

**10. Суммарный разрядный ток  $I_{total}$  (total discharge current  $I_{total}$ ): ток, протекающий по PE или PEN проводнику при испытательном разрядном токе для многополюсного УЗИП.** Испытание проводят импульсным током, указанным производителем, подавая его с генератора через элемент развязки на все выводы УЗИП, относительно вывода PE (PEN). Испытание проводится с целью проверки способности конструкции УЗИП в целом пропускать через себя ту часть импульсного тока, которая будет растекаться через ввод линии электропитания при прямом ударе молнии в объект.

Таким образом, если производитель указывает в каталоге значение суммарного импульсного тока 100 кА (10/350 мкс) для УЗИП, предназначенного для установки в сети TN-S, это означает, что через каждый полюс L1, L2, L3 и N данного УЗИП в сторону полюса PE будет протекать ток по 25 кА волны 10/350 мкс. Суммарный ток через клемму PE УЗИП на проводник PE и шину заземления при этом составит 100 кА. Соответственно клемма PE УЗИП должна быть сконструирована так, чтобы выдерживать этот ток без повреждений.

Для УЗИП класса II может быть также указан суммарный ток  $I_{Total}$  для волны тока 8/20 мкс.

**11. Значение временного испытательного перенапряжения  $U_T$  (temporary overvoltage test value  $U_T$ ): испытательное напряжение, приложенное к УЗИП в течение определенного промежутка времени для моделирования пробоя в условиях временного перенапряжения (ВПН).** По своей сути временное перенапряжение – это перенапряжение промышленной частоты относительно большой продолжительности (более 10 мс), возникающее в определенном месте сети. ВПН могут быть вызваны повреждениями внутри низковольтной либо высоковольтной системы электроснабжения.

$U_T$  – это значение перенапряжения, указанное изготовителем, которое УЗИП способно выдерживать в течение заданного промежутка времени, либо без недопустимых изменений параметров или функций, либо с повреждением, но не представляющим опасности для персонала или оборудования.

Отметим, что критерии для определения величины  $U_T$  для разных вариантов включения УЗИП в сетях, TN, TT, IT при повреждениях в высоковольтной и низковольтной системах приведены в п. 4.1.3 ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011 и в разделе 442 ГОСТ Р 50571-4-44-2011. Самые последние требования МЭК сформулированы в таблице В.1 Приложения В стандарта ИЕС 61643-11:2011.

Например, для УЗИП, устанавливаемых в системе TN, в цепях L-N или L-PE параметр  $U_T$  должен быть не менее  $U_0 \cdot 1,45$  в течение не менее 5 с. То есть для  $U_0 = 230$  В:

$$U_T = U_0 \cdot 1,45 = 230 \cdot 1,45 = 333,5 \text{ В в течение 5 с.}$$

Для УЗИП, устанавливаемых в системе TT, в цепи N-PE параметр  $U_T$  должен быть не менее 1200 В в течение не менее 200 мс.

Кроме того, существует ряд других параметров УЗИП, которые не рассматриваются в данной статье, но предусмотрены в ГОСТ 51992-2011.

В следующих номерах журнала будут проанализированы вопросы схемотехнических решений и координации УЗИП с защищаемым оборудованием. ■