

ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И ОБОРУДОВАНИЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ГРОЗОВЫХ И КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

ЗОРИЧЕВ А.Л.

Технический директор ЗАО «Хакель Рос»

ГЛАВА 1

ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ГРОЗОВЫХ И КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

РАЗДЕЛ 1.1

КРАТКИЙ ОБЗОР НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ

В электротехнике существует несколько основных систем стандартизации, которые рассматривают вопросы молниезащиты согласно своих, сформировавшихся по территориальному или национальному признаку, научных платформ и концепций. Для Российского рынка и рынка Таможенного союза наиболее важной является концепция, разработанная и продолжающая совершенствоваться Международной Электротехнической Комиссией - МЭК (International Electrotechnical Commission - IEC).

МЭК разработано несколько серий стандартов, в которых изложены основные принципы построения систем молниезащиты, заземления, уравнивания потенциалов и защиты от импульсных токов и перенапряжений для объектов общественного и промышленного назначения. Национальные стандарты многих государств гармонизируются со стандартами МЭК, подобные процессы происходят сейчас и в России.

Нормативные документы в области создания внешних систем молниезащиты зданий и сооружений

К основным нормативным документам по молниезащите, в первую очередь, относится стандарт IEC-62305 «Защита от удара молнии», состоящий из четырех частей.

Требования, изложенные в данном стандарте, формируют так называемую «Зонную концепцию защиты». Так же стандарт содержит методику расчета риска поражения объекта молнией, определения необходимого критерия надежности системы внешней молниезащиты, и как следствие, выбора ее конструктивного решения.

В России с 01.12.2011 введены в действие первые две части данного стандарта:

- ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы». Идентичен IEC 62305-1:2010. Стандарт раскрывает некоторые аспекты физики молниевых разрядов, основные его параметры, а также общие подходы к решению задач, связанных с организацией молниезащиты объектов разного назначения, за исключением различных видов транспорта;
- ГОСТ Р МЭК 62305-2-2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 2. Оценка риска». Идентичен IEC 62305-2:2010. Настоящий стандарт применим к оценке риска удара молнии и его последствий для зданий, сооружений и их частей.

Пока не изданы в системе ГОСТ Р третья и четвертая части стандарта:

- IEC 62305-3:2010 «Защита от молнии. Часть 3. Физические повреждения конструкций и опасность для жизни»
- IEC 62305-4:2010 «Защита от молнии. Часть 4. Электрические и электронные системы внутри конструкций»

В настоящее время Ассоциацией «Росэлектромонтаж» готовится к изданию аутентичная редакция стандарта в системе ГОСТ Р. Помимо стандарта IEC 62305 (2010) действующими в России нормативными документами являются так же:

- СО-153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций»;
- РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений»

Так же необходимо отметить серию стандартов, посвящённую компонентам систем молниезащиты ГОСТ Р МЭК 62561, состоящую на данный момент времени из шести документов:

- ГОСТ Р МЭК 62561.1-2014 «Компоненты системы молниезащиты. Часть 1. Требования к соединительным компонентам». Аутентичен IEC 62561-1(2012). Введен в действие с 01.01.2015. Устанавливает требования к исполнению и испытаниям металлических соединительных компонентов, являющихся частью системы молниезащиты. К таким компонентам относятся соединители, детали для уравнивания потенциалов, переключатели, температурные компенсаторы и соединения для испытаний. Настоящий стандарт не распространяется на испытания компонентов, предназначенных для применения во взрывоопасных средах;
- ГОСТ Р МЭК 62561.2-2014 «Компоненты системы молниезащиты. Часть 2. Требования к проводникам и заземляющим электродам». Аутентичен IEC 62561-2(2012). Введен в действие с 01.01.2015. Устанавливает требования к исполнению и испытаниям узлов и элементов заземляющих устройств систем молниезащиты;
- ГОСТ Р МЭК 62561.3-2014 «Компоненты систем молниезащиты. Часть 3. Требования к разделительным искровым разрядникам». Аутентичен IEC 62561-3(2012). Введен в действие с 01.01.2015. Устанавливает требования к исполнению и испытаниям разделительных искровых разрядников систем молниезащиты. Разделительные искровые разрядники могут применять для непрямого соединения компонентов системы молниезащиты с другими, расположенными поблизости, частями и металлоконструкциями сооружений, когда непосредственное соединение не допускается по функциональным причинам;
- ГОСТ Р МЭК 62561.4-2014 «Компоненты систем молниезащиты. Часть 4. Требования к устройствам крепления проводников». Аутентичен IEC 62561-4(2012). Введен в действие с 01.01.2015. Устанавливает требования к исполнению и испытаниям металлических и неметаллических устройств крепления проводников, используемых для молниеприемников, токоотводов и заземляющих устройств, и к их испытаниям;
- ГОСТ Р МЭК 62561.5-2014 «Компоненты систем молниезащиты. Часть 5. Требования к смотровым колодцам и уплотнителям заземляющих электродов». Аутентичен IEC 62561-5(2012). Введен в действие с 01.01.2015. Устанавливает требования к исполнению и испытаниям смотровых колодцев заземляющих электродов и уплотнителей заземляющих электродов
- ГОСТ Р МЭК 62561.6-2014 «Компоненты системы молниезащиты. Часть 6. Требования к счетчикам ударов молнии». Аутентичен IEC 62561-6(2012). Дата ввода в действие

01.01.2017. Устанавливает общие требования и методы испытаний счетчиков числа разрядов молнии, протекающих в проводнике. Этот проводник может быть частью системы молниезащиты или быть связанным с УЗИП.

Нормативные документы в области создания внутренних систем молниезащиты

К понятию внутренних систем молниезащиты относятся системы заземления, уравнивания и выравнивания потенциалов, экранирующие конструкции и другие технические решения для обеспечения рабочей электромагнитной обстановки внутри объектов. Дополнительно к внутренним системам молниезащиты также относят устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), устанавливаемые как в силовых распределительных, так и в информационных сетях. Вопросы построения данных систем рассмотрены в следующих нормативных документах:

– СО-153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций». Глава 4 «Защита от вторичных воздействий молнии».

– IEC 62305-4:2010 «Защита от молнии. Часть 4. Электрические и электронные системы внутри конструкций».

– ГОСТ Р 50571-4-44-2011 «Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех» (содержит требования IEC 60364-4-44:2007). Введен в действие с 01 июля 2012 года и заменил собой ряд важных, но устаревших стандартов из серии «Электроустановки зданий»: 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. Некоторые из разделов данного стандарта будут подробнее рассмотрены ниже.

– 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». Введен в действие с 01 января 2013 года и заменил собой устаревшие: ГОСТ Р 50571.10-96 и ГОСТ Р 50571.21-2000 из серии стандартов «Электроустановки зданий». 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.

Нормативные документы в области применения устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП)

Вопросы испытания и применения УЗИП подробнейшим образом изложены в серии стандартов МЭК - IEC 61643 и аутентичных им стандартах в системе ГОСТ и ГОСТ Р.

– ГОСТ Р 51992-2011 «Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 1. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Технические требования и методы испытаний». Введен в действие с 01 июля 2012 года 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 настоящее время в МЭК уже заменен стандартом IEC 61643-1:2011.

– Межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 61643-11-2013 «Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 11. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к низковольтным системам распределения электроэнергии. Требования и методы испытаний». Идентичен IEC 61643-11:2011. Введен в действие с 01 января 2015 года. ГОСТ

IEC 61643-11-2013 своим вводом в действие не отменил ГОСТ Р 51992-2011. Возникла сложная ситуация, когда два аутентичных стандарта МЭК действуют одновременно, при этом в МЭК действует только последний.

– Межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 61643-21-2014 «Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 21. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к телекоммуникационным и сигнализационным сетям. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний». Идентичен IEC 61643-21:2012. Введен в действие с 01 ноября 2015 года. Действовавший ранее ГОСТ Р 54986-2012 (МЭК 61643-21:2009) выведен из действия.

– 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». Идентичен IEC 61643-12:2002. Введен в действие с 01 января 2013 года. В МЭК данный стандарт заменен стандартом IEC 61643-12:2008.

– ГОСТ Р 50571.5.53-2013/МЭК 60364-5-53:2002 «Электроустановки низковольтные. Часть 5-53. Выбор и монтаж электрооборудования». Введен в действие с 01 января 2015 года. В настоящее время в МЭК действует обновленная редакция данного стандарта, включающая поправки 2015 года: IEC 60364-5-53:2001+AMD1:2002+AMD2:2015 CSV, Consolidated version. «Electrical installations of buildings - Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment - Isolation, switching and control»

– ГОСТ Р 55630-2013/IEC/TR 62066:2002 «Перенапряжения импульсные и защита от перенапряжений в низковольтных системах переменного тока. Общие положения». Введен в действие 06 сентября 2013 года.

Два последних стандарта рассматривают общие принципы применения УЗИП в электроустановках разного типа в дополнение к требованиям ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011.

Как уже указывалось выше, готовится к изданию аутентичная изданию IEC 62305-4:2010 редакция стандарта в системе ГОСТ Р, которая рассмотрит вопросы, связанные с созданием внутренних систем молниезащиты объектов, включающих в себя в том числе и устройства защиты от импульсных перенапряжений.

Пока нет информации о возможном издании стандарта IEC 61643-22:2015 «Low-voltage surge protective devices - Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Selection and application principles». Вариант названия стандарта: «Устройства для защиты от импульсных перенапряжений в системах телекоммуникации и сигнализации (информационных системах). Принципы выбора и применения». Сроки издания пока не известны.

Из приведенных примеров видно, что отставание национальных стандартов от международных в области защиты от импульсных перенапряжений составляет в среднем приблизительно от 4 до 6 лет. Еще одним недостатком гармонизированных в систему ГОСТ Р стандартов МЭК является не всегда высокое качество технического перевода и наличие в некоторых ГОСТах ошибок и опечаток.

Помимо стандартов, связанных напрямую с вопросами молниезащиты так же постоянно обновляются стандарты в области электромагнитной совместимости (ЭМС) оборудования и технических средств, что является чрезвычайно важным с точки зрения обеспечения правильного функционирования электронных и микропроцессорных систем различных объектов.

Для полноты обзора Российских нормативных документов следует отметить, что за последние годы в целом ряде системообразующих отраслей страны были разработаны и приняты внутренние корпоративные стандарты и другие документы по молниезащите, защите

оборудования от импульсных грозовых и коммутационных перенапряжений, а также по вопросам электромагнитной совместимости оборудования. К ним можно отнести:

– РД-91.020.00-КТН-021-11 «Нормы проектирования молниезащиты объектов магистральных нефтепроводов и коммуникаций организаций системы «Транснефть»

– СТО Газпром 2-1.11-170-2007 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и коммуникаций ОАО «Газпром»

– Р Газпром 2-6.2-676-2012. «Методика и порядок расчета системы молниезащиты объектов ОАО Газпром».

– СТО Газпром 2-1.11-290-2009 «Положение по обеспечению электромагнитной совместимости производственных объектов ОАО «Газпром»

– СТО Газпром 2-1.11-172-2007. «Методика по проведению экспертизы основных производственных объектов ОАО «Газпром» на соответствие нормативным требованиям электромагнитной совместимости».

– Концепция комплексной защиты технических средств и объектов железнодорожной инфраструктуры от воздействия атмосферных и коммутационных перенапряжений и влияний тягового тока (2014 год).

– СТО РЖД 08.024-2015 «Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики. Защита от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Требования к характеристикам испытательных импульсных воздействий». Введено в действие с 01 января 2016 года.

Здесь указаны только некоторые из существующих документов. В их основу положены не только требования стандартов МЭК, но и требования, учитывающие технологии и специфику защищаемых объектов. Как правило, отраслевые стандарты по своим требованиям оказываются более жесткими, чем положенные в их основу Российские и международные нормы. Дополнительно следует отметить, что совершенствование и обновление этих норм происходит значительно быстрее, чем однотипных государственных стандартов.

РАЗДЕЛ 1.2

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПУТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТОКОВ МОЛНИИ НА ОБЪЕКТЫ И КОММУНИКАЦИИ

Токи молний могут воздействовать на объект прямым способом при попадании молнии в его систему внешней молниезащиты или находящиеся в непосредственной близости сооружения, предметы или деревья. Но наиболее частыми являются случаи вторичных воздействий при ударе молнии в удаленные объекты (линии электропередач, подстанции и т.п.), связанные какими-либо коммуникациями с защищаемым объектом, или при межоблачных разрядах, вызывающих за счет сильного электромагнитного поля возникновение импульсных токов больших величин в металлических элементах конструкций и коммуникациях. Основные пути попадания и растекания грозовых токов показаны на рис. 1.2.1

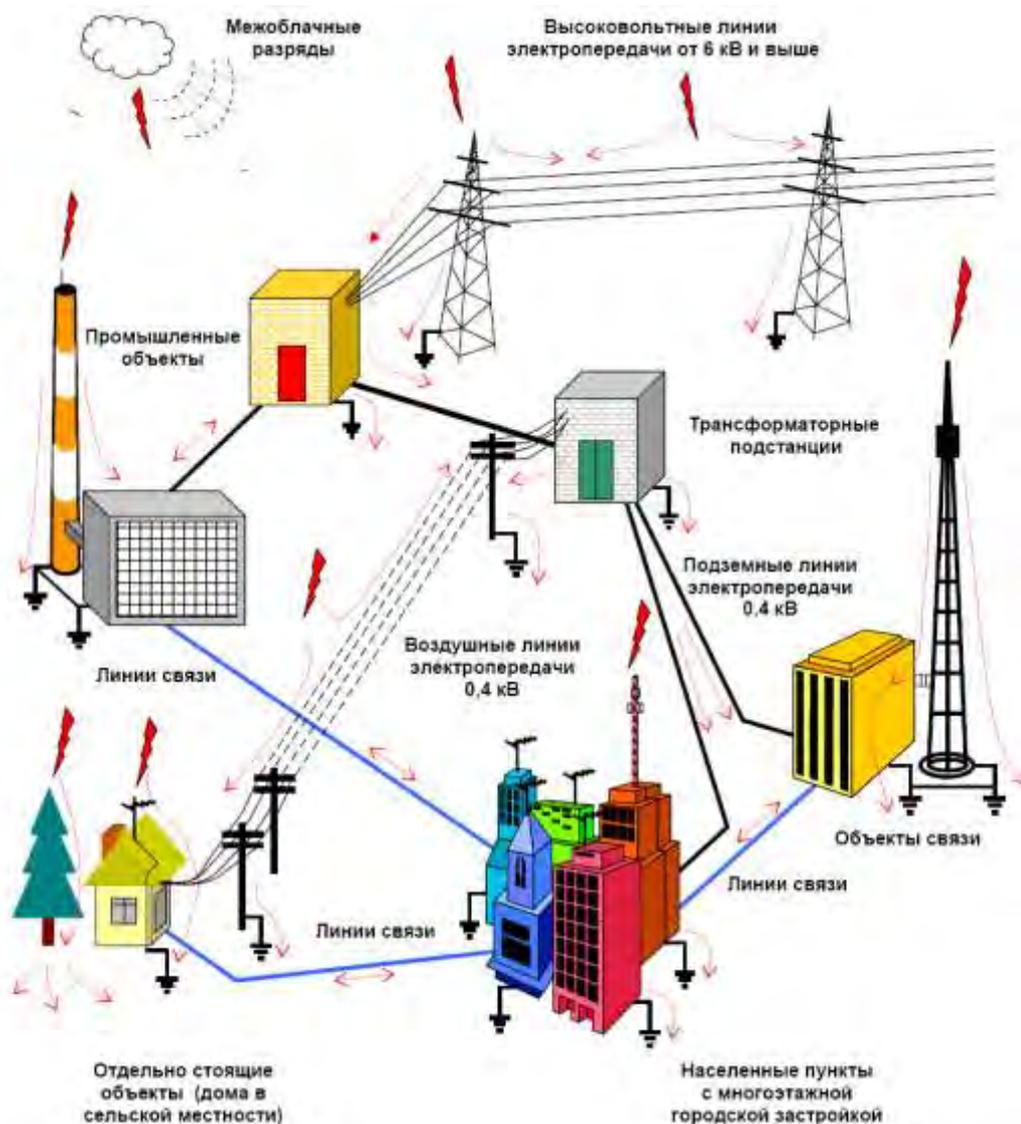


Рис. 1.2.1 Основные пути растекания грозовых токов

ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 рассматривает четыре основных типовых ситуации, связанные с повреждением объекта токами молнии в зависимости от места ее попадания. Каждая из этих ситуаций обозначается в стандарте латинской буквой «S» и порядковым номером (см. рис.1.2.2):

- S1: разряды молнии в сооружение или конструкцию объекта;
- S2: разряды молнии вблизи сооружения или объекта;
- S3: разряды молнии в коммуникации, входящие в сооружение или объект;
- S4: разряды молнии вблизи коммуникаций, входящих в сооружение или объект.

В дальнейшем эти критерии используются и другими стандартами МЭК, рассматривающими вопросы молниезащиты, а также применяются для определения амплитудных значений импульсных токов молнии при ее растекании по конструкции объекта и входящим к нему коммуникациям.

Зонная концепция защиты объекта от воздействия молнии

Основные положения «Зонной концепции защиты» изложены в серии стандартов IEC 62305. Основными ее принципами являются:

- применение строительных конструкций с металлическими элементами (арматурой, каркасами, несущими элементами и т.п.), электрически связанными между собой и системой заземления, и образующими экранирующую среду для уменьшения воздействия внешних электромагнитных влияний внутри объекта («клетка Фарадея»);
- наличие правильно выполненной системы заземления и уравнивания потенциалов;
- деление объекта на условные защитные зоны и применение устройств защиты от импульсных перенапряжений (**УЗИП**);
- соблюдение правил размещения защищаемого оборудования и подключенных к нему проводников относительно другого оборудования и проводников, способных оказывать опасное воздействие или вызвать наводки.

Стандарты IEC 62305-1:2010 и ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 определяют зоны молниезащиты (**ЗМЗ**) или lightning protection zone (**LPZ**) с точки зрения прямого и непрямого воздействия молнии:

- **ЗМЗ 0_A (LPZ 0_A)** – зона, не защищенная от прямого удара молнии (ПУМ) и электромагнитного поля грозовых разрядов. Все точки зоны могут подвергаться воздействию ПУМ (иметь непосредственный контакт с каналом молнии) и возникающего при этом электромагнитного поля;
- **ЗМЗ 0_B (LPZ 0_B)** – зона, защищенная от ПУМ, но не защищенная от электромагнитного поля грозовых разрядов. Все точки зоны не подвергаются воздействию ПУМ, так как находятся в пространстве, защищенном системой внешней молниезащиты. Однако в данной зоне имеется воздействие неослабленного электромагнитного поля;
- **ЗМЗ 1 (LPZ 1)** – зона, в которой грозовой ток перераспределяется по токоотводам системы молниезащиты, а так же за счет системы уравнивания потенциалов и применения УЗИП на границе Зоны 1/0 - по металлоконструкциям и проводникам распределительной сети объекта. Токи во всех токопроводящих частях имеют значительно меньшее значение по сравнению с зонами 0_A и 0_B. Электромагнитное поле также снижено по сравнению с зонами 0_A и 0_B за счет экранирующих свойств строительных конструкций;
- **ЗМЗ 2 (LPZ 2), ..., n** – зоны, в которых токи растекания молнии могут в дальнейшем уменьшаться за счет их равномерного распределения по элементам системы уравнивания потенциалов и использования УЗИП на границе Зоны 1/2 и Зоны 2/3 (при необходимости далее Зоны n/n+1). Критерий выбора количества данных зон определяется соответственно общими требованиями по ограничению внешних воздействий, влияющих на защищаемую систему. Имеет место общее правило, по которому с увеличением номера защитной зоны уменьшаются влияние электромагнитного поля и грозового тока. На границах раздела отдельных зон необходимо обеспечить присоединение к системе уравнивания потенциалов всех металлических элементов конструкции (экранных оболочек, кабельростов и т.п.), с

обеспечением их периодического контроля. Согласно общему правилу, защищаемое оборудование должно находиться в такой ЗМЗ, электромагнитные характеристики, в которой соответствуют устойчивости оборудования к их воздействию.

Примечания:

- 1) Формулировки определений зон защиты не взяты дословно из указанных выше стандартов, а раскрыты с точки зрения более простого понимания.
- 2) Способы образования связей на границах разделов между зонами, принципы размещения оборудования, обеспечения его экранирования, методы расчетов приведены в стандарте IEC 62305-4:2010 «Protection against lightning - Part 4: Electrical and electronic systems within structures» (Защита от удара молнии. Часть 4. Электрические и электронные системы внутри сооружений). На распределение энергии электромагнитных полей внутри объекта оказывают влияние различные элементы строительной конструкции такие как: отверстия или щели (например, окна, двери) обшивки из листовой стали (водосточные трубы, карнизы), а также места ввода-вывода кабелей электропитания, связи и других коммуникаций.

На рисунке 1.2.2 приводится пример разделения защищаемого объекта на несколько зон. Кабели электропитания, связи и другие металлические коммуникации должны входить в защитную Зону 1 в одной точке и своими экранными оболочками или металлическими частями подключаться к главной заземляющей шине на границе раздела Зон 0_A- 0_B и Зоны 1.

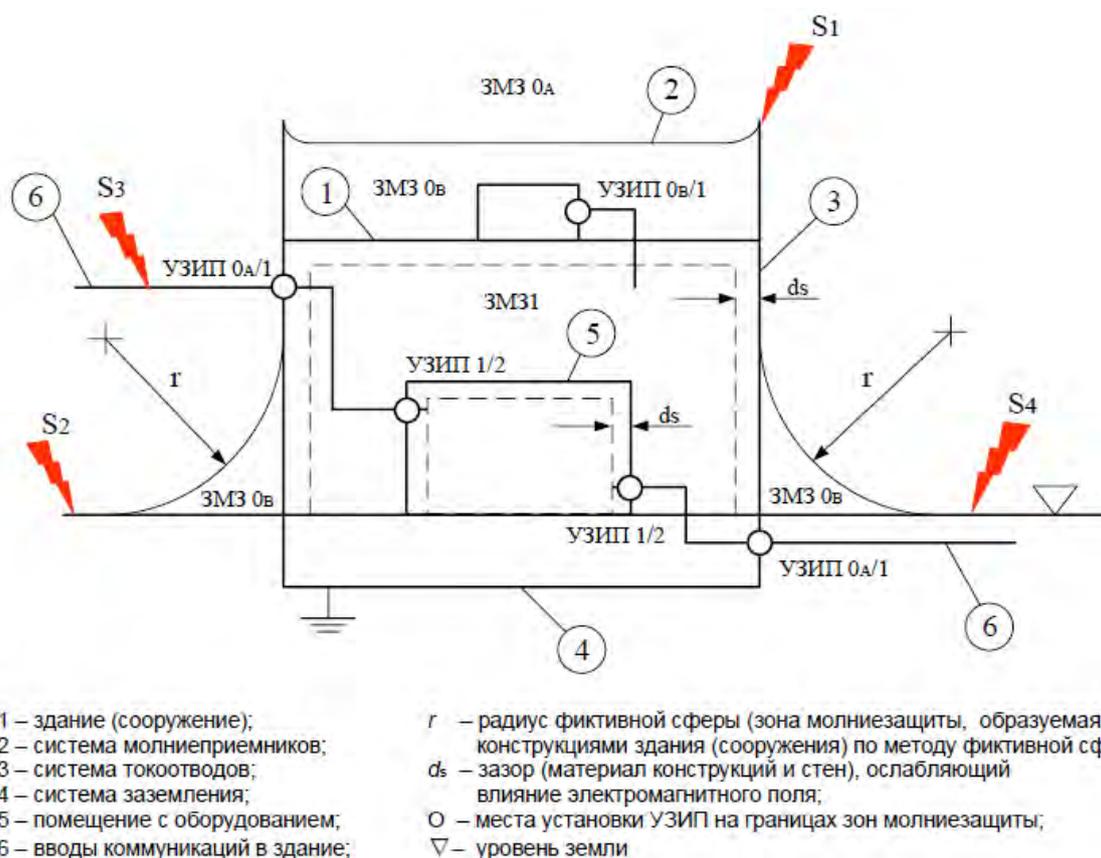


Рис. 1.2.2 Пример разделения объекта на зоны молниезащиты

Описанное выше разделение объекта на условные зоны позволяет на практике эффективно решать вопросы защиты низковольтных распределительных сетей до 1000 В, а также линий связи, передачи данных, компьютерных сетей и других коммуникаций, входящих в объект, с помощью применения различного типа УЗИП, дополняющих систему уравнивания потенциалов и вместе образующих так называемую внутреннюю систему молниезащиты.

РАЗДЕЛ 1.3

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УЗИП ДЛЯ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Для обеспечения защиты объекта от импульсных перенапряжений Зонной концепцией предусмотрена ступенчатая схема включения УЗИП. Основные классы испытаний устройств защиты от импульсных перенапряжений для низковольтных силовых распределительных сетей, последние редакции определений их параметров, методик испытаний и принципов применения приведены в стандартах МЭК серии IEC 61643-1:2011, IEC 61643-12:2008 и IEC 62305-4:2010. В действующих в России ГОСТ IEC 61643-1-2013 (идентичен IEC 61643-1:2011), ГОСТ Р 51992-2011 (идентичен IEC 61643-1:2005) и ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011 (идентичен IEC 61643-12:2002) эти определения и методики могут незначительно отличаться или соответствовать устаревшим редакциям МЭК, поэтому при их применении необходимо учитывать изменения, внесенные в последние обновленные редакции стандартов. Далее в статье ссылки будут даваться на действующие в РФ ГОСТы, в зависимости от того, в котором из них предоставлена более понятная информация или применены более жесткие требования к УЗИП. Возможно, данная неопределенность будет устранена с момента официального вывода из действия ГОСТ Р 51992-2011, соответствующего устаревшей редакции стандарта IEC 61643-1:2005.

Согласно определения, приведенного в стандарте ГОСТ Р 51992-2011: «**Устройство защиты от 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 целому ряду признаков в зависимости от их назначения, конструкции, а также от классов испытаний, которым они подвергаются по ГОСТ Р 51992-2011 или ГОСТ IEC 61643-1-2013. Основные требования к УЗИП в соответствии с классами испытаний приведены в таблице 1.3.1.

Таблица 1.3.1

Класс испытаний УЗИП ¹⁾	Назначение устройства
I	Предназначены для защиты от прямых ударов молнии в систему молниезащиты здания (объекта) или воздушную линию электропередач. 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 используется импульсный ток I_{imp} с формой волны 10/350 мкс, номинальный разрядный ток I_n с формой волны 8/20 мкс или волна напряжения 1,2/50 мкс
II	Предназначены для защиты токораспределительной сети объекта от коммутационных помех или как вторая ступень защиты при ударе молнии. Устанавливаются в распределительные щиты. Нормируются и испытываются номинальным разрядным током I_n , максимальным разрядным током I_{max} с формой волны 8/20 мкс или волной напряжения 1,2/50 мкс
III	Предназначены для защиты потребителей от остаточных перенапряжений после срабатывания УЗИП первой и второй ступеней защиты, 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.

Примечание: 1) Обычно термин «класс испытаний УЗИП» заменяется в технической документации и каталогах производителей сокращенным термином «класс УЗИП».

При выборе УЗИП необходимо обращать внимание на следующие параметры, указанные производителем, и соответствие их терминам и определениям, приведенным в ГОСТ Р 51992-2011 и ГОСТ IEC 61643-1-2013 (курсивом выделены определения, взятые из стандартов):

1. Номинальное напряжение переменного тока системы U_0 - Номинальное напряжение между фазой и нейтралью (действующее значение напряжения переменного тока) системы. (Определение по ГОСТ Р 51992-2011).

Параметр, имеющий косвенное отношение к УЗИП. Например, УЗИП с указанным в каталоге или паспорте параметром $U_0=230$ В может быть успешно применен не только в сети с данным рабочим напряжением, но и с напряжением, например, 120 В.

2. Вид защиты УЗИП. Заданный путь тока между выводами, содержащий защитные элементы, например, между фазами, фазой и землей, фазой и нейтралью, нейтралью и землей. (Определение по ГОСТ IEC 61643-1-2013).

Подразумевается, что многополюсные УЗИП могут иметь несколько нелинейных или коммутирующих элементов, включенных между различными фазами, нулевым рабочим N и нулевым защитным PE проводниками защищаемой линии. При этом импульсный ток проходит через каждый такой элемент, а к их выводам при этом могут быть приложены одновременно определенные рабочие напряжения.

3. Максимальное длительное рабочее напряжение U_c - Максимальное напряжение действующего значения тока, которое длительно подается к виду защиты УЗИП. (Определение по ГОСТ IEC 61643-1-2013).

Это наибольшее действующее значение напряжения переменного тока, которое может быть длительно (в течение всего срока службы) приложено к выводам защитного устройства в конкретных цепях его подключения, например, «фаза - нейтраль» (и т.п. согласно предыдущего подпункта). Значение U_c чаще всего указывается для действующего переменного тока. Для УЗИП ограничивающего типа (на базе оксидно-цинковых варисторов) может дополнительно указываться значение U_c и для цепей постоянного тока. С целью получения значения U_c для постоянного тока разработчиками УЗИП используются паспортные данные от производителей оксидно-цинковых варисторов (ОЦВ). Если такие данные недоступны, приблизительное значение U_c для постоянного тока можно вычислить умножением указанного производителем ОЦВ значения U_c для действующего переменного тока на коэффициент, находящийся в пределах $1.27 \div 1.31$ (зависит от технологии изготовления ОЦВ). УЗИП коммутирующего типа в цепях постоянного тока могут использоваться с существенными ограничениями, ввиду сложности гашения в таких цепях сопровождающего тока, поэтому обычно значение U_c для постоянного тока для таких УЗИП не указывается. Возможность применения УЗИП коммутирующего типа в цепях постоянного тока (при наличии в них специальных конструктивных решений) должно отражаться производителем в паспортных данных на УЗИП.

4. Уровень напряжения защиты U_p :

- **Параметр, характеризующий 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. (Определение по ГОСТ Р 51992-2011).**

- **Максимальное напряжение, ожидаемое на выводах УЗИП в результате импульсного напряжения ограниченной крутизны и импульсного напряжения с разрядным током заданной амплитуды и формы волны. (Определение по ГОСТ IEC 61643-1-2013).**

В данных двух формулировках надо разобраться подробнее. ГОСТ IEC 61643-1-2013 предоставляет следующую дополнительную информацию:

Уровень напряжения защиты устанавливает производитель, и он не может быть выше, чем:

- измеренное предельное напряжение, установленное для фронта волны разрядника (при наличии) и установленное по измерению остаточного напряжения при амплитудах I_n и/или I_{imp} для классов испытания I и/или II соответственно;
- измеренное предельное напряжение при U_{oc} , установленное для комбинированной волны класса испытаний III.

И еще два определения из ГОСТ IEC 61643-1-2013, которые также надо рассмотреть для понимания данного вопроса:

- Измеренное предельное напряжение: Это максимальное значение напряжения, измеренное на выводах УЗИП при подаче импульсов заданной формы волны и амплитуды.

- Остаточное напряжение U_{res} : Пиковое значение напряжения, появляющееся на выводах УЗИП вследствие прохождения разрядного тока.

Таким образом:

– измеренное предельное напряжение, установленное для фронта волны разрядника (УЗИП коммутирующего типа) - это максимальное из множества значений, полученных при испытании разрядника волной напряжения формы 1,2/50 мкс с пиковым напряжением 6 кВ. При нестабильном срабатывании разрядника напряжение может увеличиваться до 10 кВ. Для УЗИП ограничивающего типа (на базе варисторов) данное испытание не проводится;

– измеренное предельное напряжение по измерению остаточного напряжения при амплитудах I_n и/или I_{imp} для классов испытания I и/или II соответственно - это множество измеренных значений напряжений U_{res} , полученных при испытаниях УЗИП разрядными токами волны формы 8/20 мкс с установленными стандартом амплитудными значениями, максимальное из которых равно по модулю значению номинального разрядного тока I_n (8/20 мкс) или значению импульсного тока I_{imp} (10/350 мкс), заявленными производителем, при этом выбирается то значение, которое больше по модулю. Испытание проводится как для варисторов, так и для разрядников.

– измеренное предельное напряжение при U_{oc} , установленное для комбинированной волны класса испытаний III - это испытания, которые проводятся комбинированной волной напряжения и тока 1,2/50 - 8/20 мкс соответственно, с напряжением открытого (незамкнутого) выхода генератора U_{oc} , указанного изготовителем УЗИП, как правило это значение составляет 6 или 10 кВ.

В результате стандарт требует, что в качестве U_p должно быть указано значение, выбранное из типовой линейки значений (предлагаемых стандартом), которое при этом должно превышать максимальное значение любого из множества всех описанных выше значений, полученных в результате испытаний УЗИП по соответствующему классу.

Иногда производитель УЗИП может по собственной инициативе указывать несколько значений U_p , полученных при испытаниях по каждому классу, если на конкретную модель УЗИП заявляется несколько классов испытаний.

5. Импульсный ток I_{imp} :

- Определяется тремя параметрами: пиковым значением тока I_{peak} , зарядом Q и удельной энергией W/R . (Определение по ГОСТ Р 51992-2011).

- Пиковое значение тока, протекающего через УЗИП, определяемое заданными параметрами: зарядом Q , удельной энергией W/R и временем. (Определение по ГОСТ IEC 61643-1-2013).

Применяется для испытаний УЗИП класса I. Согласно пп. 7.1.1 ГОСТ Р 51992-2011 Однополюсный испытательный импульсный ток должен достичь значения I_{peak} в течение 50 мкс (микросекунд), передача заряда Q должна произойти в течение 10 мс (миллисекунд), рассеяние удельной энергии W/R должно произойти в течение 10 мс (миллисекунд). Одним из возможных импульсов для проведения данных испытаний может быть использован импульс с формой волны 10/350 мкс, описывающий первый короткий удар в составе разряда молнии (см. 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 ГОСТ IEC 61643-1-2013 время передачи заряда Q уменьшено до 5 мс (миллисекунд).

6. 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 может выдерживать многократно. Используется для испытания УЗИП класса II. При воздействии данного импульса определяется уровень защиты устройства U_p . По этому параметру также производится координация других характеристик УЗИП. Так же данный параметр используется как критерий проверки исправности УЗИП при прохождении различных циклов испытаний.

7. 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. $I_{max} > I_n$.

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} .

8. 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 указывать описанный ниже параметр I_{SCCR} .

9. Устойчивость к токам короткого замыкания (short-circuit withstand): Максимальный ожидаемый ток короткого замыкания, который способен выдержать УЗИП. (Определение по ГОСТ Р 51992-2011).

Номинальный ток короткого замыкания (Short-circuit current rating I_{SCCR}): Максимальный ожидаемый ток короткого замыкания, поступающий от силовой системы на который нормированы УЗИП совместно с указанным разъединителем. (Определение по ГОСТ IEC 61643-1-2013).

Примечание: разъединитель УЗИП не является устройством, обеспечивающим вопросы электробезопасности и защиты от сверхтоков (токов КЗ)

Данный параметр дает представление о стойкости УЗИП к току короткого замыкания, 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 стандартом ГОСТ Р 51992-2011 подразумевается 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, насколько опасным для окружающего оборудования или человека может быть повреждение (разрушение) УЗИП заявленным током КЗ.

10. Номинальная отключающая способность сопровождающего тока I_{fl} (follow current interrupting rating I_{fl} , параметр для УЗИП на базе разрядников) - Ожидаемый ток короткого замыкания, который УЗИП в состоянии отключить самостоятельно (без дополнительного разъединителя). (Определение по ГОСТ IEC 61643-1-2013).

Сопровождающий ток по своей физической сути это ток, который протекает через разрядник после окончания импульса перенапряжения и поддерживается самим источником тока, т.е. 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; L-PE» нельзя применять разрядники со значением I_{fl} меньшим рассчитанного 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. Для установки в данные цепи необходимо применять разрядники со значением I_{fl} , **гарантированно превышающим расчетный ток короткого замыкания** (как правило, это значение 2÷3 кА и выше). Для разрядников, устанавливаемых в цепь N-PE, параметр I_{fl} должен быть величиной не менее 100 А.

11. Суммарный разрядный ток I_{Total} (total discharge current I_{Total}) - Ток, протекающий по РЕ или PEN проводнику при испытательном разрядном токе для многополюсного УЗИП.

Испытания проводят импульсным (10/350 мкс) или разрядным током (8/20 мкс), указанным производителем, подавая его с генератора через элементы развязки на все выводы УЗИП, относительно вывода РЕ (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, надо понимать, что, 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 РЕ будет протекать ток по 25 кА волны 10/350 мкс. Суммарный ток через клемму РЕ УЗИП на проводник и шину заземления при этом составит 100 кА. Соответственно и клемма РЕ, и проводник заземления, и шина, должны быть сконструированы и выбраны по сечению так, чтобы этот ток выдерживать без повреждений. Для УЗИП класса II так же может быть указан суммарный ток I_{Total} для волны тока 8/20 мкс.

12. 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 системы, либо внутри высоковольтной системы электроснабжения. Временные перенапряжения, как правило, длительностью до нескольких секунд, обычно возникают в результате коммутаций, либо повреждений (например, внезапное отключение нагрузки, повреждение в однофазной цепи и т.д.) и/или в результате нелинейности (эффект феррорезонанса, гармоники и т.д.).

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.

Примечание: 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 пп. 4.1.3 ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011, в главе 7 ГОСТ Р 55630-2013 и в разделе 442 ГОСТ Р 50571-4-44-2011. Последние требования МЭК сформулированы в таблице В.1 Приложения «В» стандарта ГОСТ IEC 61643-1-2013.

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 (ситуация соответствует режиму однофазного КЗ в трехфазной сети типа TN). Т.е для $U_0=230$ В:

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

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.

13. Время реагирования t_a .

Это время отклика УЗИП на импульсное воздействие. Для оксидно-цинковых варисторов его значение обычно не превышает 25 нс. Для разрядников разной конструкции время срабатывания может находиться в пределах от 100 наносекунд до нескольких микросекунд.

Существует ряд других параметров, которые тоже учитываются при выборе устройств защиты от перенапряжения, например: ток утечки (для варисторов), максимальная энергия, выделяемая на варисторе, ток срабатывания предохранителей (для защитных устройств со встроенными предохранителями) и т.д. (см. ГОСТ 51992-2011).

С более подробной информацией о параметрах УЗИП можно ознакомиться в технических бюллетенях, публикуемых на сайте ЗАО «Хакель Рос» – www.hakel.ru

РАЗДЕЛ 1.4

ВЫБОР КЛАССА И ТИПА УЗИП, ВОПРОСЫ КООРДИНАЦИИ УЗИП

Вопросы правильного выбора и применения устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) с точки зрения их способности пропускать импульсные токи заданных величин, координации по уровням напряжения защиты (U_p) со стойкостью изоляции оборудования электроустановки или с другими УЗИП при многоступенчатой схеме защиты объекта, устойчивостью к воздействию длительных (временных) перенапряжений и т.д., в той или иной степени рассматриваются одновременно в нескольких нормах МЭК или аутентичных им по содержанию стандартах системы ГОСТ Р.

Определение требуемых параметров УЗИП с точки зрения устойчивости к импульсным токам

Исходя из оценки риска прямого удара молнии или наводок от удаленного разряда, необходимо выбрать тип применяемых УЗИП и схему их установки. Необходимость защиты от грозовых перенапряжений зависит от следующих факторов:

- Интенсивности ударов молнии N_g в месте нахождения объекта (среднее годовое количество ударов молнии на 1 км^2 за год). В условиях России данное значение можно получить, используя карты грозовой активности по регионам. Но при этом полученный параметр будет весьма приблизительным.
- Степени уязвимости самой электроустановки. Например, подземные системы электропитания по вполне понятным причинам считаются менее уязвимыми, чем воздушные.
- Стоимости и (или) важности оборудования с точки зрения его функционального назначения. В некоторых случаях стоимость вышедшего из строя оборудования несоизмеримо мала по отношению к потерям, вызванным нарушениями в технологических процессах, а это может стать важным критерием для усложнения схемы защиты.

Более подробно вопросы оценки риска и необходимости применения УЗИП отражены в следующих стандартах:

- ГОСТ Р 50571-4-44-2011, Раздел 443 «Защита от атмосферных или коммутационных перенапряжений». Особо следует отметить, что в данном разделе стандарта рассматривается вопрос устойчивости электроустановок и их технологических компонентов к перенапряжениям, поступающим непосредственно из систем распределения электроэнергии (линий электропередач);
- ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010; ГОСТ Р МЭК 62305-2-2010; ИЕС 62305-3:2010; ИЕС 62305-4:2010, как уже указывалось в начале статьи, раскрывают общие принципы защиты от ударов молнии и их вторичных проявлений;
- Стандарты серии ИЕС 61643 и их Российские аналоги (смотри Раздел 1.1 данной статьи) раскрывают вопросы защиты потребителей электроустановок, а также оборудования обработки информации различного типа.

Для правильного выбора УЗИП определенных типов и классов испытаний, мест и схем их установки необходимо выполнять следующую последовательность действий:

1. Произвести расчет риска поражения объекта прямым ударом молнии согласно ГОСТ Р МЭК 62305-2-2010, определить необходимый уровень надежности системы внешней молниезащиты и соответствующее ему пиковое значение тока молнии.
2. При помощи методик, предложенных в ГОСТ Р 51992-2011 Приложение «А» или ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011 Приложение «Д» (упрощенные методики, пример расчета приведен ниже), либо в ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 Приложение «Е» (более полная и сложная методика), произвести оценку токов растекания в точке установки УЗИП. Так же можно

ознакомиться с примерами оценочных расчетов в ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011 Приложение «G».

3. Исходя из номинального рабочего напряжения сети U_0 , в которой планируется установка УЗИП, с учетом допустимого отклонения (превышения) напряжения согласно ГОСТ 32144-2013 "Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» определить параметр U_c для дальнейшего выбора УЗИП. Параметр U_c должен превышать максимальные прогнозируемые отклонения напряжения сети. При низком качестве поставляемой электроэнергии, а также при ожидании появления в сети временных перенапряжений со значениями до межфазного в течение длительного времени рекомендуется выбирать УЗИП со значениями U_c превышающими межфазное напряжение.
4. Далее из линейки УЗИП с заданным значением U_c необходимо выбрать устройства с соответствующими параметрами импульсных токов (I_{imp} , I_n , I_{max}), желательно превышающими на 20-30% рассчитанные значения токов растекания в защищаемых цепях (для обеспечения запаса ресурса УЗИП). При этом следует учесть необходимость координации уровней напряжения защиты (U_p) выбранных УЗИП с импульсной стойкостью изоляции оборудования в электроустановке. Рекомендуется выбирать УЗИП с уровнем защиты, по меньшей мере, на 20% ниже уровня стойкости изоляции самого чувствительного оборудования. При отсутствии координации возможно придется искать компромиссное решение по снижению заданного выше значения U_c при одновременном ужесточении требований к качеству электроэнергии. Это приведет к снижению значения U_p и появлению координации УЗИП с импульсной стойкостью изоляции защищаемого оборудования.
5. В случае использования многоступенчатой схемы включения УЗИП, предусмотренной Зонной концепцией защиты, для предотвращения перегрузки и повреждения более слабых УЗИП, установленных в одной электрической цепи с более мощными, должна учитываться необходимость их координации между собой по уровням напряжения защиты (U_p) и по распределению между ними токов растекания в соответствии с их пропускной способностью (I_{imp} , I_n , I_{max}), заявленной производителем.
6. В случае выявленных несоответствий УЗИП заданным требованиям, повторить процедуры по пунктам 3, 4 и 5.

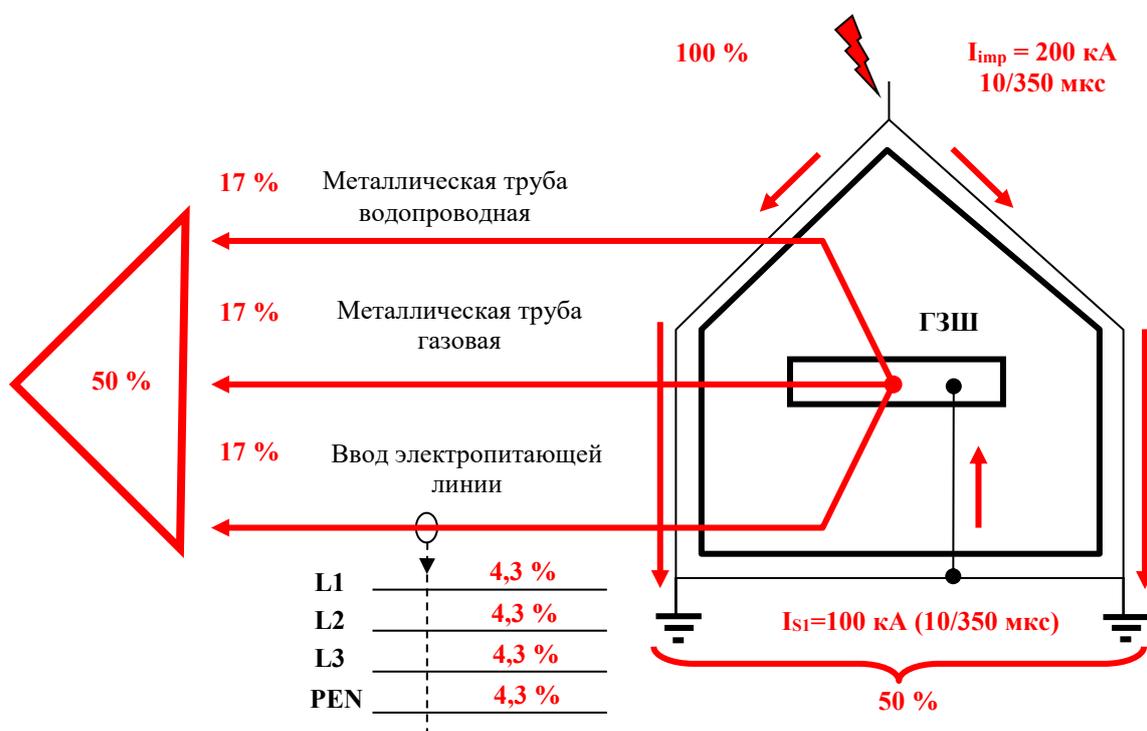


Рис. 1.4.1 Распределение токов молнии при прямом ударе молнии в объект

На рисунке 1.4.1 приводится классический пример распределения грозового тока в объекте, подвергнутом прямому удару молнии согласно Приложения «А» ГОСТ Р 51992-2011).

Для определения распределения токов между металлическими элементами конструкции здания при попадании молнии в систему внешней молниезащиты, необходимо рассчитать сопротивления заземляющих устройств, трубопроводов, ввода кабелей электропитания, ввода кабелей связи и т.п.

В случаях, когда трудно осуществить точный расчёт, осуществляется так называемая квалифицированная оценка, исходящая из следующих рассуждений:

- расчет производится для пикового значения тока $I_{imp} = I_{peak}$, взятого из таблицы 3 пп.8.2 ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 в соответствии с выбранным уровнем защиты от ПУМ (фрагмент данной таблицы приведен ниже в виде Таблицы 1.4.2). Например, для объектов с первым уровнем молниезащиты $I_{imp} = 200$ кА (10/350 мкс)
- 50% от общего тока $I_{imp} = 200$ кА (10/350) $\rightarrow I_{s1} = 100$ кА (10/350) отводится в землю через заземляющее устройство системы внешней молниезащиты;
- 50% от общего тока $I_{imp} = 200$ кА (10/350) $\rightarrow I_{s2} = 100$ кА (10/350) разделится равномерно (приблизительно по 17%) между наружными вводами в объект, например, металлической трубой водопроводной, металлической трубой газовой и проводами кабеля ввода электрического питания 230/400 В.

Таблица 1.4.2

Первый короткий импульс тока			Уровень молниезащиты			
Параметры тока	Обозначение	Единица измерения	I	II	III	IV
Пиковое значение тока	I_{peak}	кА	200	150	100	
Электрический заряд короткого импульса тока	$Q_{коротк}$	Кл	100	75	50	
Удельная энергия	W/R	МДж/Ом	10	5,6	2,5	
Временные параметры	T_1/T_2	мкс/мкс	10 / 350			

Величина тока, проходящего через отдельные вводы обозначается как I_i , при этом:

$$I_i = I_{s2}/n$$

где n равняется числу вводов. Для оценки тока I_v в отдельных жилах неэкранированного кабеля, ток в кабеле делится на количество проводов m :

$$I_v = I_i/m$$

Для правильного выбора типа защитных устройств и их основных параметров целесообразно руководствоваться следующим правилом:

Расчет необходимо производить исходя из максимального значения грозового тока I_{imp} (10/350 мкс) в зависимости от уровня защиты объекта от прямого удара молнии. Далее, определить (по приведенной выше методике) для каждого провода системы электропитания значение импульсного тока формы (10/350 мкс), который может в нем протекать и который должно гарантированно отвести защитное устройство класса I. После этого выбрать УЗИП с некоторым запасом (20 – 30 %), учитывая возможную неравномерность растекания токов по различным проводникам.

В случае изменения исходных данных, т.е. числа вводов в объект, типа системы электропитания, количества проводов в кабеле и т.д., итоговые значения также могут существенно измениться. При этом изменения могут произойти как в сторону уменьшения импульсных токов, так и в сторону их возрастания. В случае применения экранированных кабелей большая часть токов растекается через экранные оболочки, что лишний раз подтверждает необходимость применения данных кабелей на объектах с повышенными требованиями к защищенности от удара молнии.

Значения токов растекания при прямом попадании молнии в провода воздушного ввода электропитания в непосредственной близости от объекта могут оказаться более серьезными, чем при попадании молнии в его систему молниезащиты. Элементарный расчет показывает, что для тока молнии $I_{\text{imp}} = 200$ кА (10/350 мкс), при условии его равномерного распределения по четырем проводам системы TN-C, импульсные токи в каждом проводе будут иметь значения около 50 кА. Стеkanie этих токов на землю будет осуществляться в двух направлениях (в примерном соотношении **1 : 1**): через повторные заземления воздушной линии электропередачи и заземляющее устройство трансформаторной подстанции и через элементы электроустановки объекта на его заземляющее устройство. Таким образом, в каждом проводе на вводе электроустановки объекта мы можем иметь ток величиной 25 кА (10/350 мкс). Если предположить, что равномерного растекания токов по какой-то причине не произошло, то это значение может возрасти до 45-50 кА и более.

УЗИП на базе варисторов обеспечивают качественную защиту при их применении в I ступени при амплитудах импульсных токов величиной $I_{\text{imp}} = 25$ кА (10/350 мкс), что в большинстве случаев является достаточным даже для случая воздушного ввода электропитающей линии в объект. Если требуется стойкость защитного устройства к более высоким амплитудам грозовых токов, рекомендуется применить разрядники искрового типа, которые могут иметь значение $I_{\text{imp}} = 50 \div 100$ кА (10/350 мкс). При выборе искрового разрядника необходимо так же уделять внимание такому параметру, как **отключающая способность сопровождающего тока I_b** , она должна быть выше расчетного тока короткого замыкания от источника питания в точке установки разрядника.

Координация УЗИП со стойкостью изоляции оборудования к импульсным перенапряжениям

Одной из задач, рассматриваемых Зонной концепцией защиты является задача электрической координации стойкости изоляции оборудования, начиная от ввода в электроустановку и заканчивая конечным потребителем, при воздействии импульсных перенапряжений. Для лучшего понимания данного вопроса необходимо более подробно рассмотреть содержание Раздела 443 «Защита от атмосферных или коммутационных перенапряжений» ГОСТ Р 50571-4-44-2011 «Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех».

В данном разделе стандарта рассматривается вопрос устойчивости электроустановок и их технологических компонентов к перенапряжениям, поступающим непосредственно из систем распределения электроэнергии (линий электропередач). Данный стандарт не распространяется на перенапряжения, возникающие при прямых ударах молнии в систему молниезащиты объекта и ударах молнии, происходящих в непосредственной близости от объекта и его электроустановки. Так же данный стандарт не распространяется на перенапряжения, возникающие в линиях передачи информации. Но, тем не менее, он дает ряд важных критериев для правильного выбора, как самого электротехнического оборудования, так и УЗИП для его защиты.

Примечание: Перечисленные выше, но не попавшие в область действия данного стандарта вопросы отдельно рассмотрены в ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011, ГОСТ Р 50571.5.53-2013 / МЭК 60364-5-53:2002, ГОСТ Р 55630-2013/IEC/TR 62066:2002 и стандарте МЭК IEC 62305-4:2010.

ГОСТ Р 50571-4-44-2011 вводит понятие **номинальной стойкости оборудования к импульсным напряжениям, как выдерживаемого оборудованием импульсного напряжения, указанного изготовителем для оборудования или его части и характеризующего заданную способность его изоляции выдерживать перенапряжения**. В целях обеспечения координации изоляции между различными частями электроустановок стандартом определены категории перенапряжений и представлена соответствующая классификация стойкости электротехнического оборудования к импульсным перенапряжениям. В зависимости от места размещения в стационарной электроустановке электротехническое оборудование делится на 4 категории (IV, III, II, I) по стойкости изоляции к импульсным перенапряжениям.

Для каждой категории в зависимости от класса напряжения сети определяются максимально выдерживаемые импульсные перенапряжения (защитные уровни), допускаемые для подключённого оборудования. Например, для сети TN-C с напряжением 230/400 В значение импульсного перенапряжения на вводе питающей линии в объект, не должно превышать уровень **6 кВ**. Оборудование, установленное на вводе в электроустановку объекта, относят к **категории перенапряжения IV**. Управление перенапряжением (по терминологии стандарта), а проще говоря - ограничение перенапряжения, до заданного уровня обеспечивается установкой ОПН 6 кВ или 10 кВ на стороне присоединения высоковольтной линии к ТП, а также при необходимости установкой соответствующих УЗИП, либо на шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции, либо на элементах подходящей к объекту низковольтной питающей линии (например, УЗИП для установки на ВЛ 0,4 кВ).

Оборудование, размещенное в ГРЩ, распределительных щитах и других элементах внутренней распределительной сети объекта, относится к **категории III**, с уровнем выдерживаемых импульсных перенапряжений не более **4 кВ**.

Электроприемники, подключаемые непосредственно к штепсельным электророзеткам относятся к оборудованию **категории II** – не более **2,5 кВ**.

А такие потребители как: компьютеры, контроллеры, бытовые приборы с программным управлением и т.п. относятся к **категории I** с самой низкой стойкостью изоляции к импульсным перенапряжениям - не более **1,5 кВ**.

Координация стойкости изоляции оборудования электроустановки к перенапряжениям, поступающим из распределительной сети или возникающим в случае прямого удара молнии в объект (близкого удара к объекту), когда уровни перенапряжений могут быть значительно превышены, должна осуществляться при помощи УЗИП соответствующих классов защиты, размещаемых на границах зон молниезащиты объекта. Такое подключение УЗИП называется ступенчатой схемой защиты от импульсных перенапряжений.

Очевидная существующая взаимосвязь между зонами молниезащиты, классами защитных устройств и категориями стойкости изоляции оборудования к импульсным перенапряжениям показана на рисунке 1.4.2

Защита потребителей, подключаемых к электроустановке объекта и имеющих в своем составе вторичные источники питания и электронные компоненты, должна обеспечиваться с учетом их возможной низкой устойчивости к импульсным перенапряжениям. Такие потребители, как уже говорилось выше, относятся к оборудованию категории I со стойкостью изоляции к импульсным перенапряжениям не менее 1,5 кВ. Для них может требоваться выполнение стандартов по электромагнитной совместимости, задающих иные критерии устойчивости изоляции к импульсным напряжениям и токам. Примером такого стандарта может являться ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95). Одним из наиболее часто применяемых требований данного стандарта к конкретному типу оборудования (существуют так же менее или более жесткие требования), являются параметры стойкости изоляции его портов к импульсным перенапряжениям, не менее 2 кВ для цепей «провод – земля» и не менее 1 кВ для цепей «провод – провод» при подаче комбинированной волны напряжения и тока 1,2/50 мкс - 8/20 мкс, соответственно. Для испытанного таким образом оборудования далее могут быть подобраны УЗИП, у которых значение U_p не превышает заданное. Если при этом для защиты оборудования будет применена многоступенчатая схема включения УЗИП, то необходимо

будет проанализировать наличие или отсутствие координации между УЗИП разных ступеней по их уровням защиты (U_p).

Сказанное выше приводит к необходимости более тщательного и взвешенного подхода к решению вопроса о выборе типов и классов УЗИП, в зависимости от важности защищаемого оконечного оборудования, а не только оборудования непосредственно самой электроустановки. Так же необходимо учитывать и функциональное назначение оборудования. Часто нарушение технологического процесса даже при простом сбое оборудования ведет к огромным материальным затратам, не сравнимым со стоимостью и самого оборудования и схемы его защиты от импульсных перенапряжений.

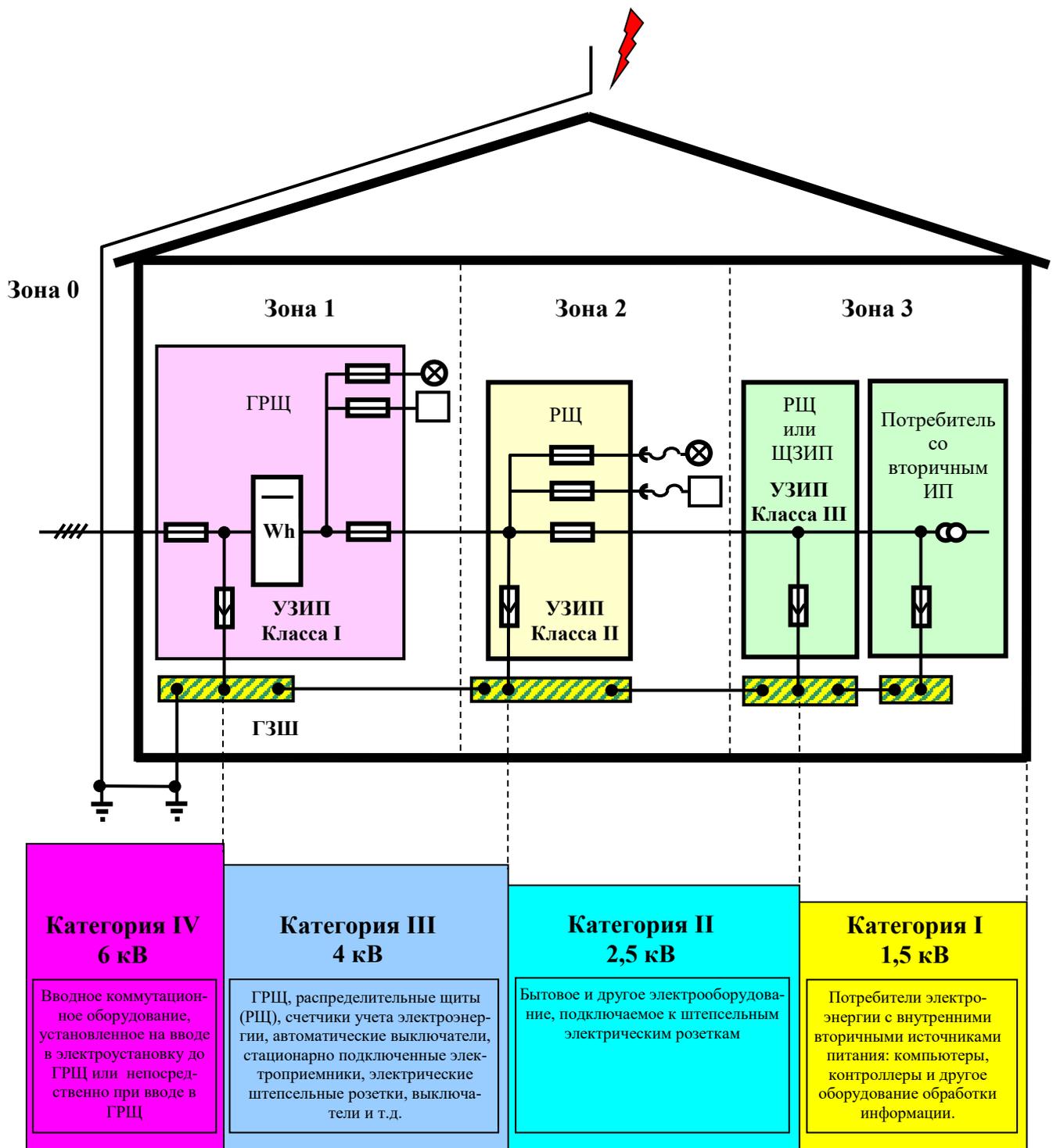


Рис. 1.4.2 Взаимосвязь между зонами молниезащиты, классами защитных устройств и категориями стойкости изоляции оборудования к импульсным перенапряжениям

Защитные устройства класса I устанавливаются на вводе в здание, на границе Зоны 0 и Зоны 1, как правило, после вводного автомата (на входе ВРУ, ГРЩ или в составе специального щитка защиты от импульсных перенапряжений - ЩЗИП). Место размещения УЗИП класса II может находиться на границе Зоны 1 и Зоны 2. Они могут устанавливаться во вторичных распределительных щитах, желательно до групповых автоматов. Возможно размещение этих устройств в Зоне 1 вместе с устройствами класса I или применение вместо отдельных УЗИП классов I и II комбинированных УЗИП класса I+II или I+II+III (эти варианты будут рассмотрены ниже). Защита класса III может устанавливаться также в распределительных щитах в Зоне 2 или в Зоне 3, если расстояние от РЩ до защищаемого оборудования менее 10 метров. При расстояниях от места установки УЗИП до потребителя более 10 метров желательно установить дополнительное устройство III класса в непосредственной близости от защищаемого оборудования, чтобы гарантированно устранить возможные перенапряжения на его входе от наводок на указанных длинах кабеля. В данном случае УЗИП может быть применено в составе щитка ЩЗИП, устройства бесперебойного питания или сетевого фильтра.

Одним из основных параметров защитных устройств, как уже указывалось выше, является **уровень напряжения защиты (U_p)**. Из рисунка 1.4.2 видно, что каждая ступень защиты обеспечивает выполнение требований по координации U_p с импульсной стойкостью изоляции оборудования электроустановки.

Как правило, УЗИП класса I на основе обычных искровых промежутков (разрядников) имеют U_p менее **4 кВ**. Разрядники с управляемым поджигом (в конструкции которых имеется дополнительный поджигающий или управляющий электрод), УЗИП класса I+II на основе варисторов, а также УЗИП класса II имеют U_p менее **2,5 кВ** во всем заявленном для них производителем диапазоне импульсных воздействий. УЗИП класса I+II+III имеют U_p ниже **1,5 кВ** при всех заявленных производителем импульсных воздействиях, так же эти УЗИП могут быть испытаны по всем трем классам испытаний, что должно быть указано в паспорте и на корпусе УЗИП.

УЗИП класса III могут иметь U_p в пределах от **0,3 до 1,5 кВ** в зависимости от их рабочего напряжения. Надо помнить, что значение U_p напрямую зависит от рабочего напряжения УЗИП, которое обусловлено параметром U_c . Для УЗИП с более высоким значением U_c значение уровня напряжения защиты U_p так же будет более высоким.

В качестве примера, варистор, применяемый для изготовления УЗИП класса II, может иметь значения U_c из ряда, приведенного во второй строке таблицы 1.4.3. Соответствующие значения уровня напряжения защиты U_p приведены в третьей строке таблицы. В первой строке указаны соответствующие типовые номинальные напряжения системы питания U_o .

Таблица 1.4.3

U_o	60 В	120 В	230 В	400 В	500 В
U_c	75 В	144 В	275 В	440 В	600 В
U_p	< 0,35 кВ	< 0,85 кВ	< 1,3 кВ	< 2 кВ	< 2,5 кВ

Координация между УЗИП разных ступеней по их способности пропускать импульсные токи

Следующим вопросом должна стать задача координации УЗИП разных ступеней защиты (которые при этом могут относиться к разным классам испытаний) по соответствию их способности пропускать импульсные токи определенных длительностей и амплитудных значений. Это означает, например, что если УЗИП конкретной ступени защиты рассчитан

на пропускание импульсного тока волны 8/20 мкс с амплитудой 20 кА, а в реальных условиях будет протекать ток 30 кА волны 8/20 мкс, то этот УЗИП будет разрушен. При этом так же возможно превышение уровня напряжения защиты на клеммах этого УЗИП, что приведет к нарушению координации со стойкостью изоляции защищаемого оборудования, и оно так же будет повреждено.

Защитное расстояние УЗИП

В подпункте 6.1.2 и «Приложении К» ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011 описывается влияние явления колебаний на защитное расстояние УЗИП. Возникающие после срабатывания УЗИП колебательные процессы с учетом индуктивной составляющей кабельной линии и емкостной составляющей нагрузки могут иметь выбросы с амплитудой, вдвое превышающие значение U_p , обеспечиваемого данным УЗИП. В результате УЗИП, размещенное на вводе в электроустановку (в ГРЩ или в ВРУ), не обеспечивает достаточную защиту оборудования при его удалении на расстояние более 10 м по кабельной линии от места установки УЗИП. Для нагрузок, имеющих емкостной характер, это расстояние может оказаться даже меньшим 10 м.

На амплитуду колебаний влияет множество различных факторов, таких как частотный диапазон воздействующего импульса, длина проводников линии от УЗИП до оборудования, величина активного сопротивления нагрузки. Стандарт не дает окончательных рекомендаций по действию в данной ситуации, ссылаясь на то, что данная проблема находится в стадии изучения. Предлагается уменьшать защитное расстояние УЗИП на величину менее 10 м для нагрузок с активной составляющей, а при наличии емкостной составляющей нагрузки, или при расстоянии более 10 м для активной нагрузки устанавливать дополнительное УЗИП непосредственно возле защищаемого оборудования. При этом сразу же возникает вопрос координации между УЗИП.

Энергетическая координация между двумя УЗИП в одной питающей линии

В подпункте 6.2.6 ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011 говорится, что в некоторых электроустановках может требоваться применение двух и более УЗИП, чтобы снизить воздействие импульса тока на защищаемое оборудование до приемлемого значения. Для распределения импульса тока между двумя УЗИП в соответствии с их энергостойкостью необходима координация или, иначе говоря, согласование режимов работы УЗИП.

Функцию согласования может выполнять специальный элемент, иногда резистивного характера, но чаще всего индуктивного - дроссель, включенный в линию между точками подключения УЗИП для облегчения разделения импульсных токов и энергии между ними. Так же в этой роли может выступать сама кабельная линия, точнее индуктивность отрезка кабеля между двумя УЗИП. Возможны и комбинации обеих составляющих.

Обычно за основное значение берется индуктивность 1 мкГн на длину линии в 1 м. Значение 1 мкГн/м уже учитывает индуктивность прямого и обратного проводников, т.е. это значение дано для случая, когда эти проводники разделены между собой. Когда прямой и обратный соединительные провода размещены вблизи друг от друга (находятся в составе одного кабеля), индуктивная петля уменьшается, и удельная индуктивность становится ниже чем 1 мкГн/м. Она может уменьшаться до значения 0,5 мкГн/м.

Так же на режимы согласования могут повлиять, длины проводников от клемм УЗИП до точек подключения к питающей линии, длина волн импульсных токов (диапазон частот импульсных токов) и собственно сами параметры УЗИП, особенно их внутреннее сопротивление в открытом состоянии и способность пропускать без повреждений импульсные токи заданных волн и амплитуд.

Вопрос координации (рисунок 1.4.3) в общем виде заключается в том, какие части тока I_1 и I_2 при поступлении входящего импульса I , должны пройти через УЗИП 1 и УЗИП 2. Кроме того, способны ли эти УЗИП выдержать такую нагрузку.

Если расстояние между двумя УЗИП невелико, а длительность импульса большая, то влияние индуктивности будет незначительным и УЗИП 2 может быть перегружен. Объясняется это тем, что импульсные токи большой длительности, например, волны формы 10/350 мкс имеют более низкий частотный диапазон, что уменьшает индуктивное сопротивление линии, соединяющей УЗИП 1 и УЗИП 2 в момент протекания импульсного тока. В результате этого УЗИП 2 может испытать перегрузку и выйти из строя.

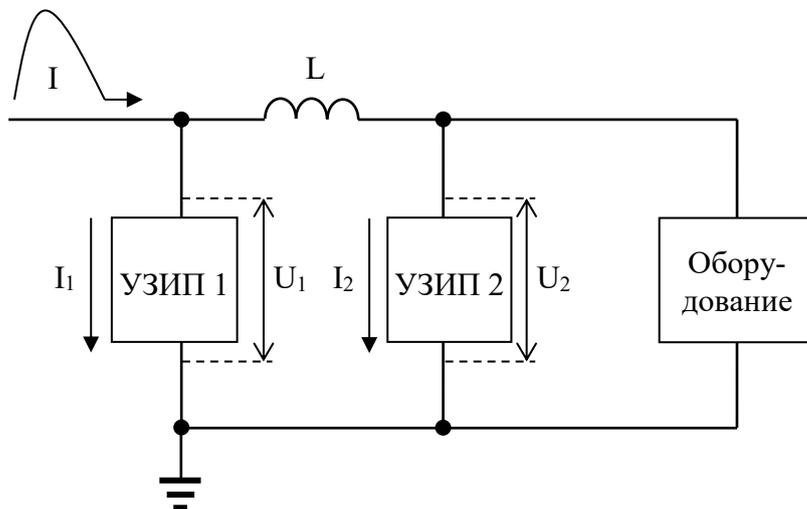


Рис. 1.4.3 Типовой пример применения двух УЗИП в электрической цепи

Необходимая координация достигается выбором соответствующих УЗИП в каждой ступени защиты для снижения значения тока I_2 до приемлемого для УЗИП 2 уровня с учетом полного сопротивления электрической цепи между двумя УЗИП. Уменьшение значения тока I_2 так же приводит к снижению остающегося напряжения U_2 на УЗИП 2 до значения, необходимого для правильной координации со стойкостью изоляции защищаемого оборудования. Такие же вопросы возникают и в случае применения трехступенчатой схемы защиты.

При этом, недостаточно связывать задачу координации только с величинами импульсных токов, протекающих через УЗИП, необходимо учитывать также и рассеиваемую данными УЗИП энергию. Это определяется тем, что при одной и той же амплитуде исходного тока воздействия I его длительность может уменьшаться или увеличиваться, что приводит к изменению передаваемой в каждое УЗИП энергии и может серьезно влиять на работу схемы защиты и ее физическую исправность.

Чтобы убедиться в правильной энергетической координации двух УЗИП, необходимо выполнить следующее требование. Координация по энергии будет достигнута, если для всех значений импульсных токов, предусмотренных характеристиками УЗИП 2, значения энергии, рассеиваемой в нем, будут меньше или равны его максимальной энергетической стойкости ($E_{\max 2}$). Возможны ситуации, когда по условиям размещения и согласно расчетам, УЗИП двух соседних ступеней защиты должны быть способны рассеивать одинаковую энергию для обеспечения нормальной работы схемы защиты. Это в особой степени касается воздействия длинных волн тока. Возможны и другие нестандартные варианты.

Дополнительная информация по вопросам расчётов параметров УЗИП и элементов связи между ними для обеспечения их эффективной координации изложена в Приложении «К» и Приложении «F» ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011. Так же данный стандарт предлагает рассмотреть практические примеры процессов координации УЗИП в различных комбинациях: «разрядник – варистор» (подразумевается оксидно-цинковый варистор), «варистор – варистор» и т.п. для большего количества ступеней защиты. При этом в стандарте предлагается достаточно простое и понятное решение данной проблемы. С учетом того, что анализ и расчеты режимов работы УЗИП для их координации в многоступенчатых схемах являются

весьма сложными, в случае если все УЗИП поставлены одним и тем же изготовителем, целесообразно запросить у изготовителя информацию относительно расстояния, полного сопротивления или необходимой индуктивности (параметров дросселя) между выбранными УЗИП для их правильной координации. Практика показала, что для большинства проектных решений этой информации будет достаточно.

РАЗДЕЛ 1.5

ОСНОВНЫЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ УСТАНОВКИ УЗИП В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЯХ

Для того чтобы надежно защитить любой объект от воздействия любого вида перенапряжений, в первую очередь необходимо создать эффективную систему заземления и уравнивания потенциалов. При этом желателен переход на системы электропитания **TN-S** или **TN-C-S** с разделёнными нулевым и защитным проводниками. Этот переход важен не только с точки зрения защиты от импульсных перенапряжений, но и для повышения уровня электробезопасности обслуживающего персонала. Следующим шагом должна стать установка защитных устройств.

Основные принципы применения устройств защиты от импульсных перенапряжений рассмотрены в ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011; ГОСТ Р 50571.5.53-2013/МЭК 60364-5-53:2002 и в ГОСТ Р 55630-2013/IEC/TR 62066:2002. Предлагаемые ниже решения основаны именно на требованиях этих стандартов.

Основные схемы включения защитных устройств в электропитающую линию показаны на примере однофазной системы **TN-S** (См. рис. 1.5.1).

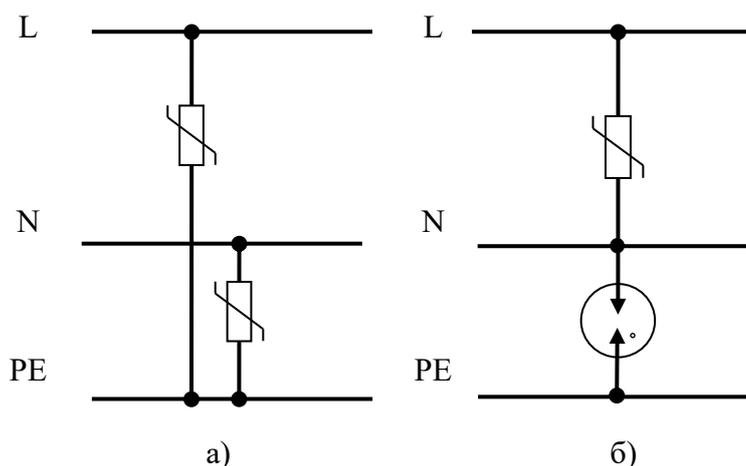


Рис. 1.5.1. Схемы защиты однофазной системы **TN-S** от:
а) продольных перенапряжений; б) поперечных перенапряжений

Схема (а) предназначена, в первую очередь, для защиты от продольных перенапряжений (провод - земля), схема (б), соответственно, от поперечных перенапряжений (провод - провод). При проектировании различных ступеней защиты возможно комбинирование этих схем.

Классическая (согласно Зонной концепции защиты) трехступенчатая схема подключения защитных устройств для трехфазной сети типа **TN-S** приведена на рисунке 1.5.2. УЗИП классов I, II и III включаются между фазными проводниками (L_1, L_2, L_3) и нулевым рабочим проводником (**N**) для ограничения поперечных перенапряжений (провод – провод). Для ограничения продольных перенапряжений (провод-земля) в каждой ступени защиты между проводниками **N** и **PE** устанавливается разрядник соответствующего класса.

Одним из преимуществ данной схемы является то, что разрядники в цепи **N – PE** позволяют обеспечить гальваническую развязку этих проводников, а, следовательно, и лучшую помехозащищенность оборудования электроустановки. Известно, что нулевой рабочий проводник практически всегда находится под определенным потенциалом (от единиц до десятков вольт), зависящим от симметричности распределения нагрузки по фазам. Так же при ра-

боте импульсных нагрузок (например, импульсных выпрямителей с преобразованием частоты) в нулевом рабочем проводнике появляются более высокие гармоники рабочей частоты сети 50 Гц. Все эти помехи могут приводить к ошибкам и сбоям в работе сверхчувствительных нагрузок через цепи заземления и уравнивания потенциалов, т.е. через РЕ проводники. Применение системы электропитания типа TN-S с разрядниками в цепи N – РЕ позволяет свести эти влияния к минимуму.

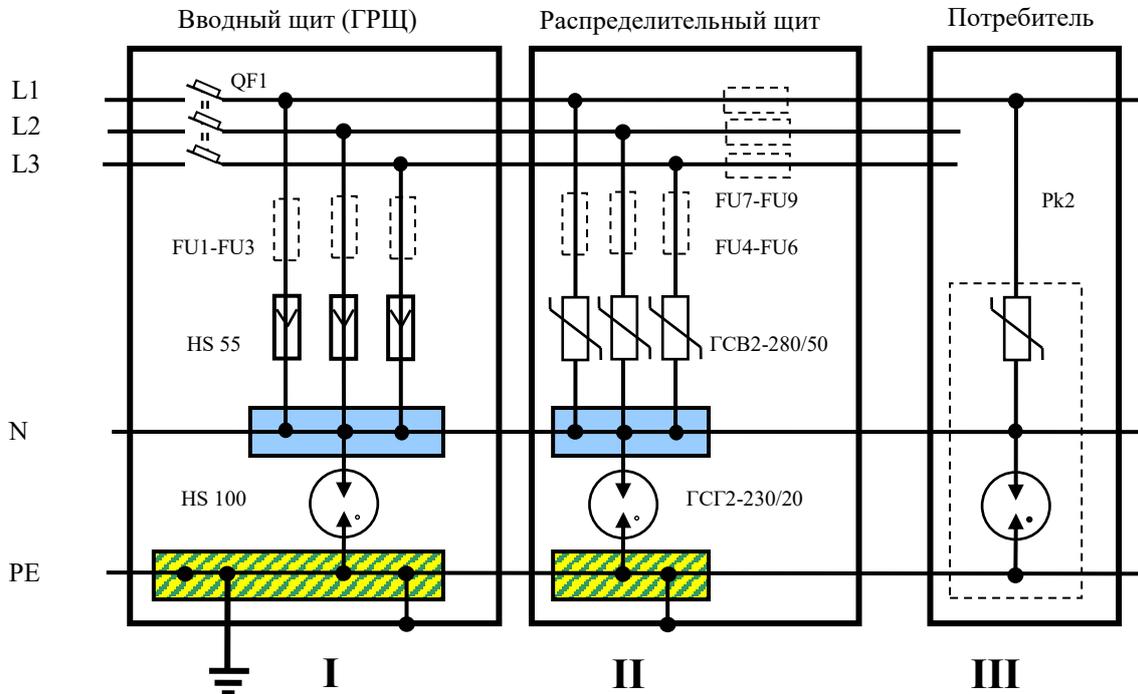


Рис. 1.5.2 Вариант установки УЗИП в TN-S сеть 230/400 В

В некоторых конкретных случаях лучший результат может обеспечить применение устройств защиты в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.5.3.

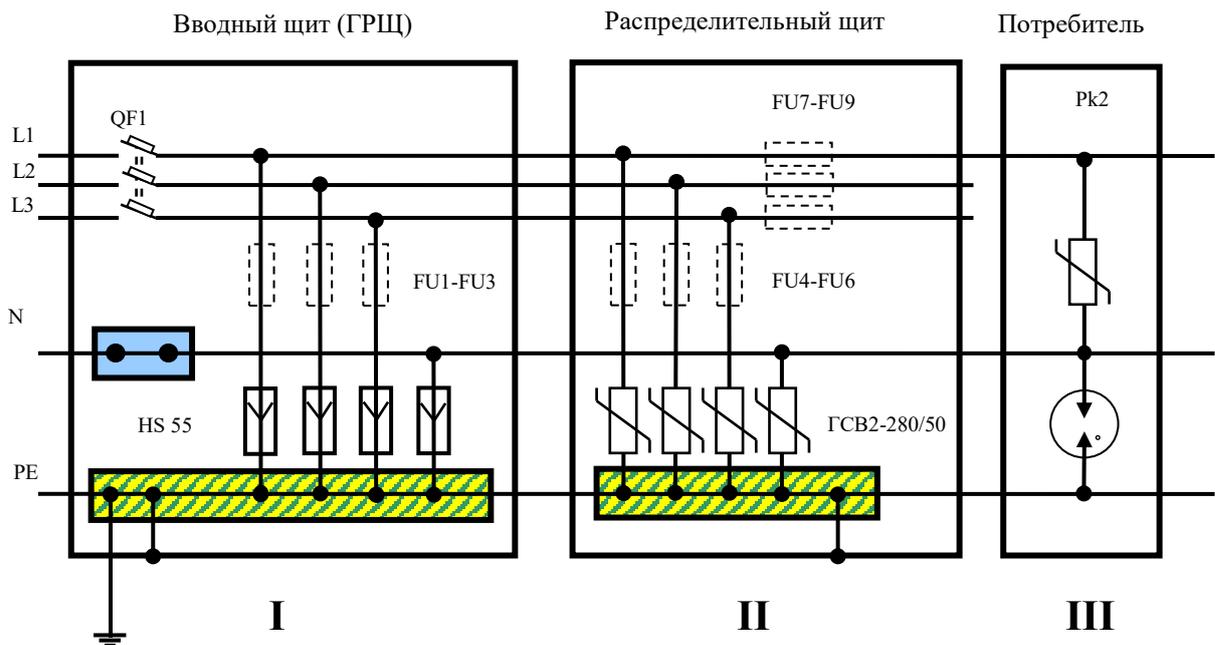


Рис. 1.5.3 Вариант установки УЗИП в TN-S сеть 230/400 В

В данном случае УЗИП классов I и II включаются между токоведущими проводниками (L1, L2, L3, N) и нулевым защитным проводником (PE) для ограничения продольных перенапряжений (провод-земля). УЗИП класса III включаются непосредственно около защищаемого оборудования в соответствии с предыдущей схемой для ограничения поперечных перенапряжений (провод – провод), если они возникли в результате асимметрии при срабатывании первых каскадов защиты. На схемах для примера показаны конкретные модели УЗИП производства компании «Хакель Рос»

Выполнение требований к очередности срабатывания УЗИП в многоступенчатых схемах защиты

В многоступенчатых схемах защиты, особенно если в первой ступени применяются УЗИП на базе разрядников, а во второй и третьей на базе варисторов, необходимо обеспечивать координацию УЗИП разных ступеней не только по уровню напряжения защиты U_p , но и по скорости ее срабатывания. Отсутствие такой координации приведет к тому, что в момент появления на вводе электроустановки импульсного перенапряжения с высокой скоростью нарастания, в каждом токоведущем проводнике (в первую очередь за счет более высокого быстродействия) произойдет открывание варисторного УЗИП второй ступени защиты. Уровень перенапряжения на нем резко снизится, что приведет к шунтированию более мощного первого каскада защиты на разряднике, которому не хватит напряжения для зажигания. В случае разноса ступеней защиты на расстояние 10 м и более, за счет увеличения индуктивного сопротивления металлического проводника кабеля при протекании по нему импульсного тока, на нем возникает падение напряжения, которое оказывается приложенным к первому каскаду защиты. Таким образом, шунтирование разрядника не произойдет, так как приложенное к нему напряжение будет по амплитудному значению превосходить его динамическое напряжение пробоя. Такие же требования могут предъявляться и при подключении третьей ступени защиты.

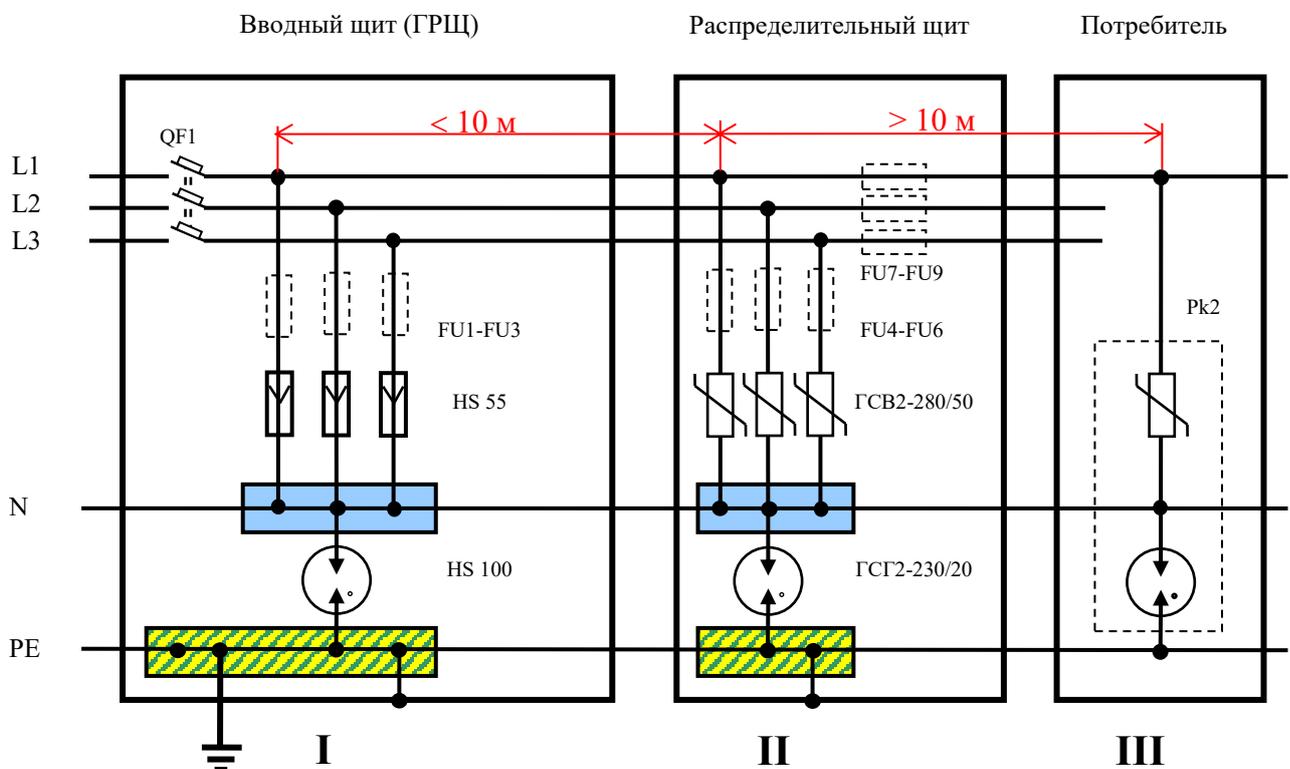
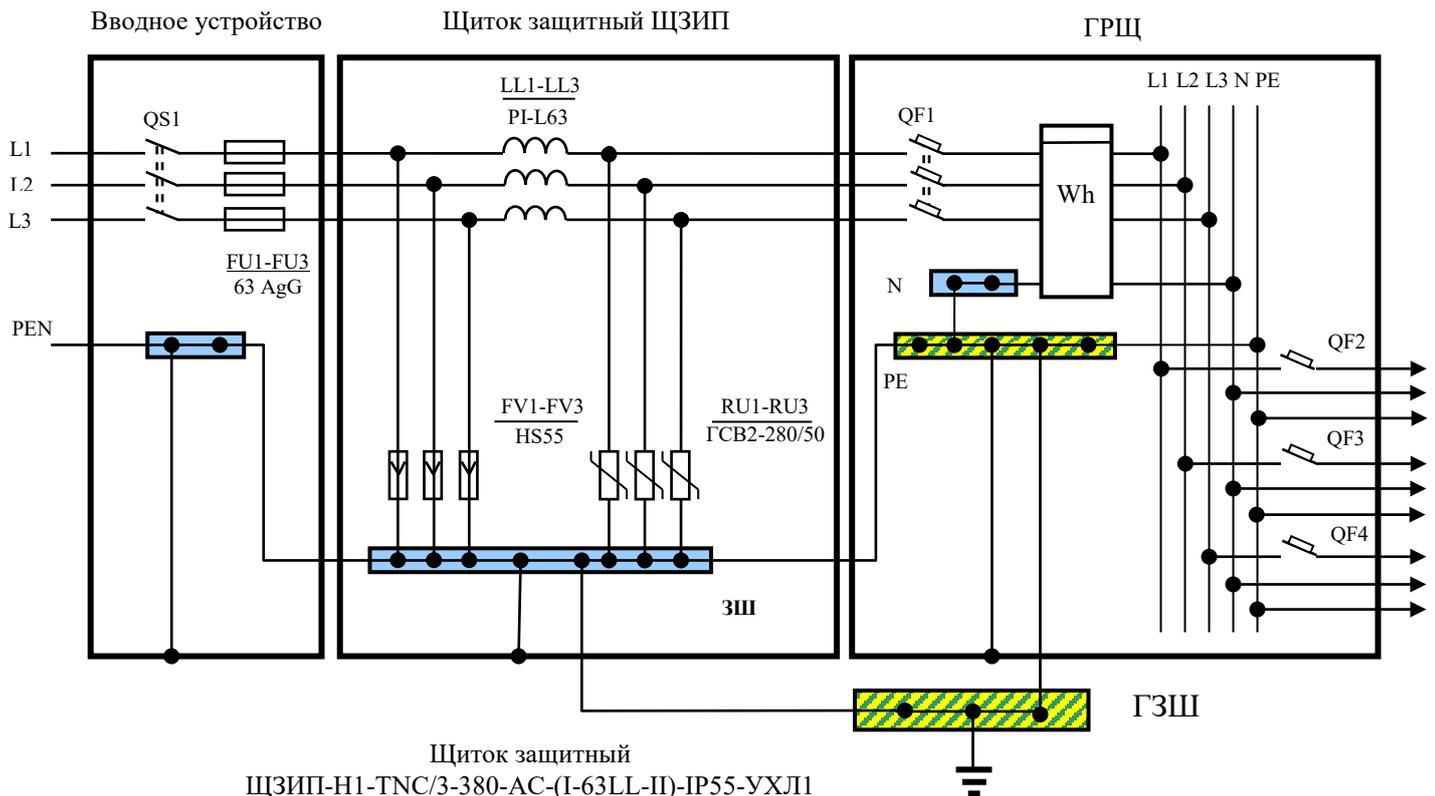


Рис. 1.5.4 Вариант раздельного размещения УЗИП в TN-S сети 230/400 В

При стесненных условиях размещения оборудования или малых габаритных размерах объекта, а также для удобства монтажа и обслуживания УЗИП могут размещаться на более близком расстоянии или непосредственно рядом друг с другом, например, в отдельном щитке защиты от импульсных перенапряжений (ЩЗИП). Причем в одном щитке могут быть установлены УЗИП всех трех классов. Это становится возможным в случае применения между ними импульсных разделительных дросселей с индуктивностью 15 мкГн. Вариант схемы подключения щитка ЩЗИП с двумя ступенями защиты к электроустановке с воздушным вводом питания приведен на рисунке 1.5.5. При этом, как вводное устройство с рубильником и плавкими вставками, так и сам щиток ЩЗИП в случае соответствующего климатического исполнения, а также применения оболочки с необходимым значением IP, могут быть размещены снаружи на стене объекта.



Щиток защитный
ЩЗИП-Н1-TNC/3-380-AC-(I-63LL-II)-IP55-УХЛ1

Рис. 1.5.5 Установка щитка ЩЗИП с разделительными дросселями в 3-х фазную TN-C-S сеть 230/400 В с воздушным вводом

При выборе и установке дросселей необходимо учитывать, что рабочие токи нагрузки в фазных проводниках не должны превышать предельно допустимые значения, указанные в техническом паспорте на данные устройства.

Выше были рассмотрены схемы включения устройств защиты от импульсных перенапряжений в электропитающие сети типа TN-S. Существующие на практике объекты чаще всего имеют вводы электропитания, выполненные по схеме TN-C. На объектах, которые подвергались реконструкции или модернизации, как правило, схема электропитания соответствует типу TN-C-S. То есть внешняя часть объекта выполняется по схеме TN-C (четырёхпроводной), внутренняя, соответственно по схеме TN-S (пяти проводной). На рисунках 1.5.6 и 1.5.7 приведены примеры установки защитных устройств для TN-C-S сети. Как вариант в данной схеме вместо отдельных УЗИП классов I, II и III применено комбинированное УЗИП класса I+II+III модели ГСВ123-230/25 3+0, которое установлено во вводном щите до точки разделения PEN проводника на N и PE проводники.

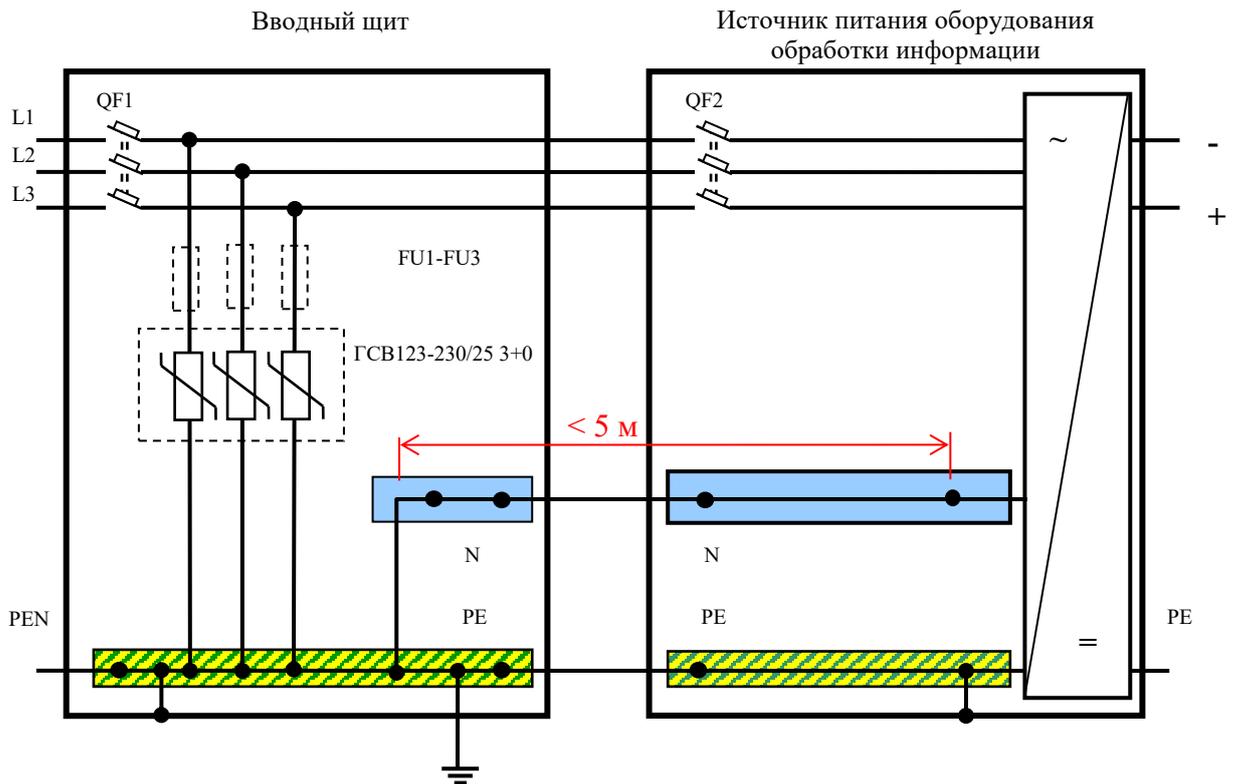


Рис. 1.5.6 Включение УЗИП в TN-C-S сеть 230/400 В для защиты оборудования обработки информации

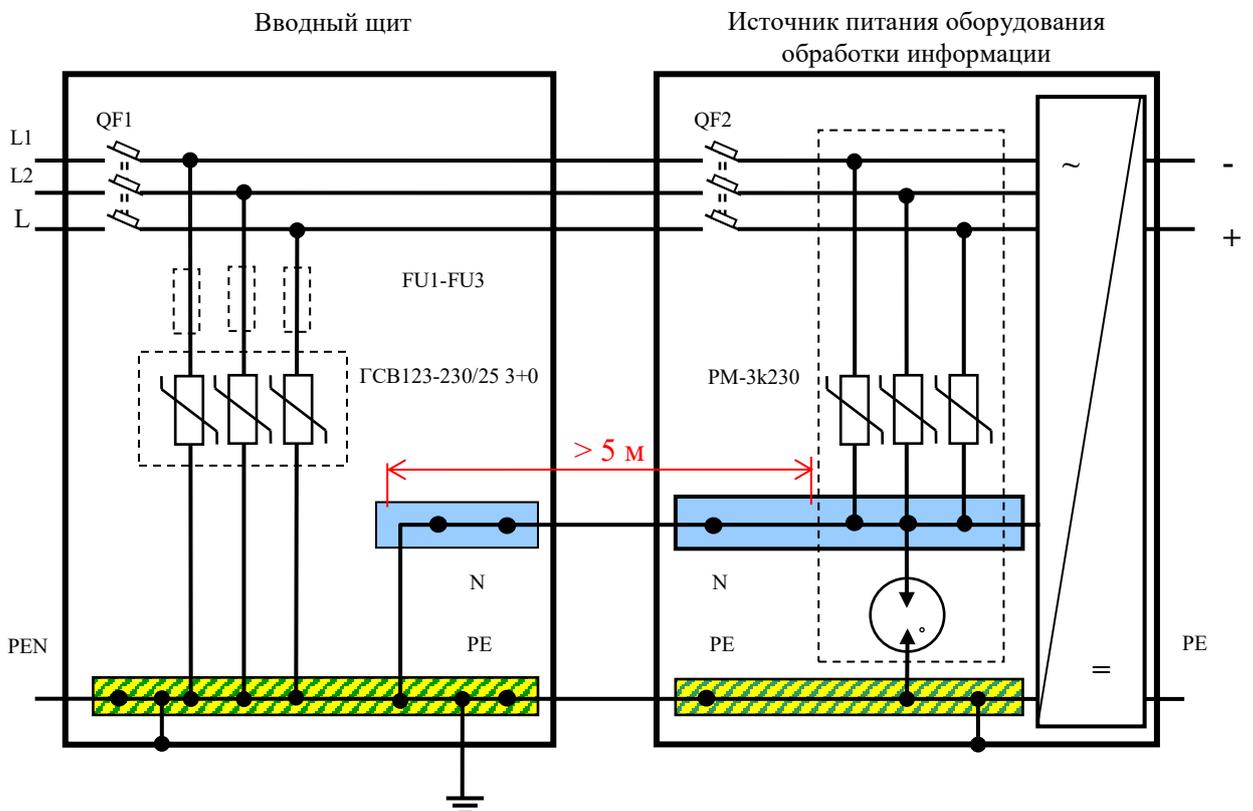


Рис. 1.5.7 Включение УЗИП в TN-C-S сеть 230/400 В для защиты оборудования обработки информации

При расстоянии от точки установки УЗИП класса I+II+III до защищаемого оборудования менее 5 м (рис. 1.5.6) необходимости в установке дополнительного устройства защиты класса III в непосредственной близости от этого оборудования не возникает. Но необходима проверка подтверждения наличия энергетической координации УЗИП класса I+II+III с защищаемым оборудованием. Для этого необходимо убедиться в отсутствии малогабаритных нелинейных элементов (варисторов, супрессорных диодов) или других маломощных УЗИП класса III, встроенных производителями во входные цепи источников вторичного или бесперебойного питания оборудования, а также в том, что между УЗИП класса I+II+III и защищаемым оборудованием обеспечено расстояние не более 5 м по кабельной линии. Отсутствие маломощных нелинейных элементов исключит возможность их повреждения из-за сложности энергетической координации с ними УЗИП класса I+II+III при импульсных воздействиях.

Примечания:

1. Маломощные нелинейные элементы обычно встраиваются производителями источников вторичного или бесперебойного питания для повышения их устойчивости к микросекундным импульсным помехам малой энергии, когда упрощение и удешевление конструкции входных цепей оборудования приводит к нарушению требований по стойкости изоляции к импульсным перенапряжениям не менее 1,5 кВ (категории перенапряжений I). При этом впоследствии требуется выполнение тщательной и трудоемкой операции по координации с УЗИП классов I или II, размещенными перед ними по пути протекания импульсного грозового тока, например, при помощи импульсных разделительных дросселей с индуктивностью 15 мкГн. При отсутствии координации встроенные маломощные нелинейные элементы могут испытать на себе перегрузку остаточными импульсными токами, выйти из строя и вызвать повреждения входных цепей источника вторичного питания защищаемого оборудования.
2. Требования по длине линии не более 5 м обусловлены следующим. Согласно ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011 при расстоянии от УЗИП до защищаемого оборудования более 10 м по кабелю в кабельной линии после срабатывания УЗИП под влиянием ее индуктивных и емкостных характеристик могут возникать колебательные процессы. Амплитуда напряжения при данных колебаниях на выводах защищаемого оборудования, может превысить U_p , обеспечиваемый УЗИП, более чем в два раза. Уменьшение расстояния до 5 метров гарантирует выполнение координации УЗИП класса I+II+III со стойкостью изоляции защищаемого оборудования и отсутствие в данной линии колебательного процесса с неприемлемыми амплитудными значениями.

На рисунке 1.5.7 показан вариант, когда расстояние от точки установки УЗИП класса I+II+III до защищаемого оборудования превышает 5 м. В данном случае непосредственно возле защищаемого оборудования необходимо установить дополнительное УЗИП класса III, а в некоторых случаях для повышения надежности схемы защиты - УЗИП класса II, в составе которого также обязательно должен быть предусмотрен разрядник в цепи N – PE.

При монтаже устройств защиты от импульсных перенапряжений необходимо учитывать то, что расстояния между главной заземляющей шиной объекта и точкой установки УЗИП должны быть минимальными. PE проводники от УЗИП к заземляющей шине должны прокладываться возможно кратчайшими путями. При подключении кабелей к клеммам УЗИП необходимо избегать совместной прокладки защищенного и незащищенного участков кабеля, а также защищенного кабеля и кабеля заземления. Правильные и неправильные варианты прокладки проводников различного назначения приведены на рисунке 1.5.8.

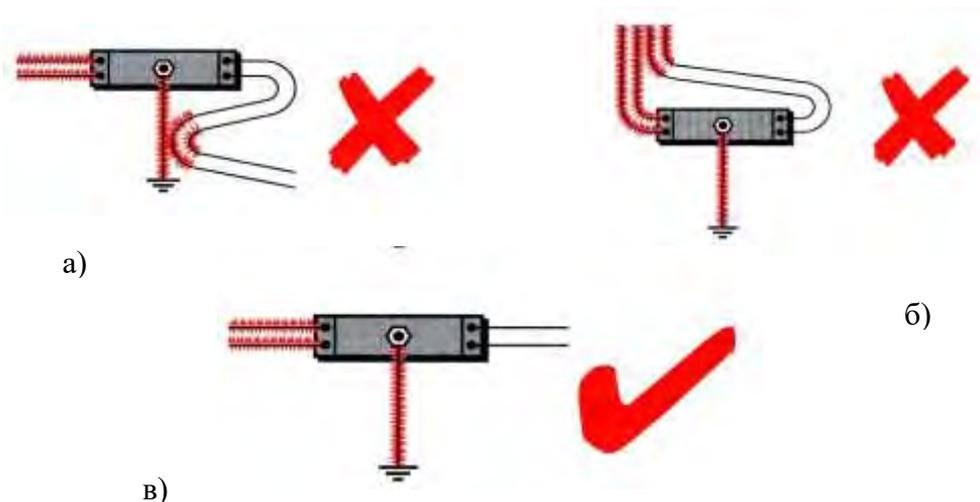
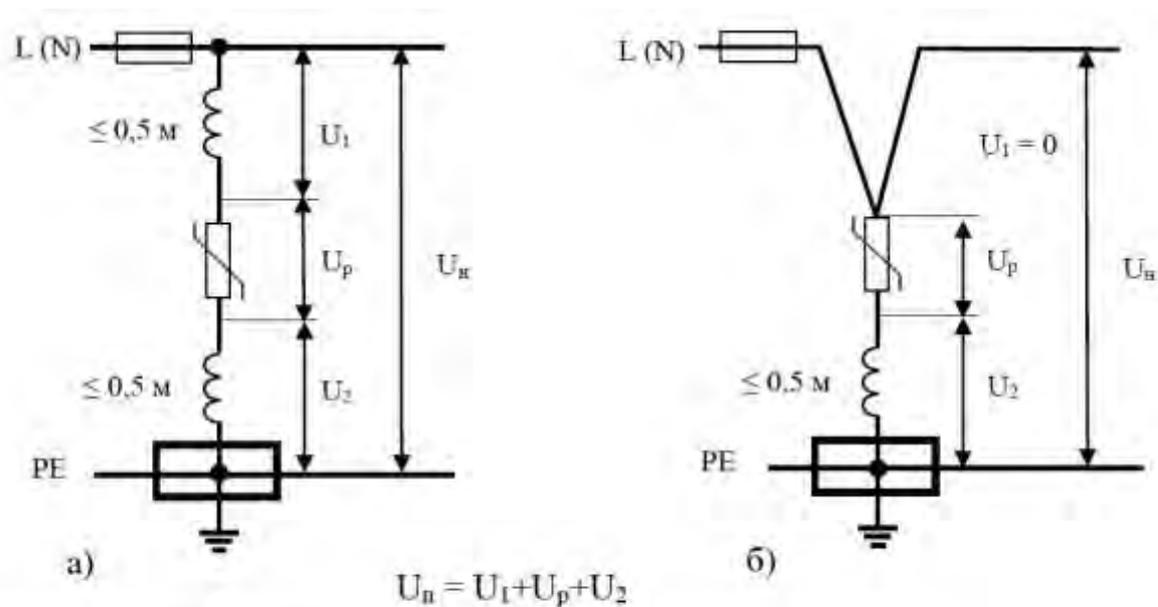


Рис. 1.5.8 а), б) – неправильная прокладка защищенных и влияющих проводников
в) – правильная прокладка защищенных и влияющих проводников

При использовании УЗИП следует учитывать особенности их подключения в схему электроустановки объекта согласно ГОСТ Р 50571.5.53-2013:

- все соединительные проводники от УЗИП к точкам подключения в электроустановке, в том числе и заземляющие, должны иметь минимальную длину, предпочтительно не более 0,5 м (рисунок 1.5.9 а);
- рекомендуется применение V-образной схемы включения УЗИП (рисунок 1.5.9 б);
- минимальная площадь поперечного сечения заземляющих проводников для УЗИП, монтируемых на вводе в электроустановку в ЗМЗ 1, с учетом того, что они выполнены из меди, должна составлять 4 мм². При наличии внешней СМЗ минимальная площадь сечения для УЗИП класса I должна составлять 16 мм².
- в случае применения устройств защитного отключения (УЗО), УЗИП классов I и II должны быть включены до УЗО по ходу электроэнергии, чтобы исключить ложное срабатывание при протекании через него импульсного тока. Устройства защиты класса III могут быть установлены после УЗО, но при этом следует использовать УЗО типа «S» (селективные), которые должны выдерживать импульс тока 3 кА с формой волны 8/20 мкс без расщепления. Срабатывание УЗИП в этом случае не вызовет ложного отключения УЗО;

Примечание: При монтаже УЗИП необходимо учитывать, что соединительные проводники между УЗИП и его точкой подключения к сети, а также между УЗИП и землей должны иметь минимальную длину. Это связано с появлением падения напряжения на проводниках, определяемым их индуктивным сопротивлением в момент прохождения через них импульсного тока при срабатывании УЗИП. Возникающие напряжения суммируются с напряжением защиты U_p УЗИП и приводят к значительному превышению остающегося напряжения, приложенного к защищаемому оборудованию. Значение падения напряжения зависит также от частотного диапазона протекающих импульсных токов. Частотный диапазон определяется формой волны тока. Волны с более высокой скоростью нарастания фронта (короткий фронт) и относительно небольшим временем спада импульса имеют в своем частотном спектре гармоники более высоких порядков. Соответственно при прохождении по проводникам таких волн тока падение напряжения на них будет значительно большим, чем при прохождении длинных волн с пологими фронтами и спадами. При V-образной схеме включения УЗИП токопроводящие L или N проводники подключаются непосредственно к вводному зажиму УЗИП, что значительно уменьшает напряжение U_n .



- $U_{\text{н}}$ - уровень остающегося напряжения, прикладываемого к нагрузке;
- U_p - уровень защитного напряжения УЗИП;
- U_1 - падение напряжения на соединительном проводнике между УЗИП и L (N) проводником;
- U_2 - падение напряжения на соединительном проводнике между УЗИП и PE проводником.

Рис. 1.5.9 Способы подключения УЗИП к линии электропитания

При выборе конструкции УЗИП классов I, I+II и I+II+III, предназначенных для отвода грозовых токов в ЗМЗ 1, отдавать предпочтение следует УЗИП в моноблочном исполнении. Съёмный (заменяемый) модуль нелинейного элемента (разрядник или варистор) с ножевыми контактами и ответной базой рекомендуется применять только в качестве УЗИП 2 и 3 ступеней защиты ввиду низкой способности таких соединений пропускать импульсные токи для волны 8/20 мкс и волны 10/350 мкс большой амплитуды.

Учитывая изменения характеристик УЗИП с течением времени (старение защитных компонентов), рекомендуется предусматривать УЗИП с индикацией его состояния (работоспособности).

Для мониторинга работы УЗИП классов I и I+II и контроля за расходом их ресурса в наиболее важных электрических цепях рекомендуется предусматривать установку счетчика числа срабатываний УЗИП или устройства регистрации, рассеянной на УЗИП энергии.

РАЗДЕЛ 1.6

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЗИП В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕМЕННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И СВЕРХТОКОВ

Общие положения

Основная задача устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) при их применении в электрических цепях заключается в пропускании через себя импульсных грозовых токов для уравнивания потенциалов между несколькими проводниками питающей линии, в самом простом варианте: между фазным проводником (L) и нулевым рабочим (N) или нулевым защитным (PE) проводниками. При этом, как и любые другие элементы электрических цепей, УЗИП могут повреждаться в режимах работы, не предусмотренных их техническими характеристиками. К таким ситуациям можно отнести, например, случай превышения фактического тока разряда I_{\max} или I_{imp} через УЗИП по отношению к его максимальному паспортному значению, что может привести к выходу УЗИП из строя и возникновению режима короткого замыкания между защищаемыми проводами электрической цепи.

Похожие последствия могут возникнуть и в случае установившегося длительного превышения напряжения в сети над максимальным допустимым рабочим напряжением U_c УЗИП. Причинами такой ситуации являются различные аварийные процессы в высоковольтной и низковольтной частях системы энергоснабжения, например, обрыв (отгорание) нулевого проводника в трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью на вводе в электроустановку и т.п. Как известно, в последнем случае к однофазной нагрузке может оказаться приложенным межфазное напряжение величиной до 400 В. УЗИП, если он не рассчитан на данное напряжение, откроется и через него начнет протекать ток, величиной которого будет стремиться к величине тока КЗ (рассчитывается по общеизвестным методикам для каждой точки электроустановки) и может достигать нескольких сотен ампер (и более). При дальнейшем протекании аварийного тока через УЗИП, возникает вероятность его физического разрушения (расплавления корпуса), замыкания металлических деталей, находящихся под напряжением питающей сети, на корпус шкафа или DIN-рейку и возможность повреждения изоляции подключаемых к УЗИП проводников.

Следует учитывать также, что в описанной выше ситуации может происходить существенное снижение (но не обязательно до нулевого значения) внутреннего сопротивления УЗИП. Как указывается в пп.12.2.1 ГОСТ Р 55630, у поврежденного УЗИП может оставаться достаточное сопротивление, которое может ограничить величину тока КЗ значением, не способным вызвать срабатывание устройства защиты от сверхтока (автомата или предохранителя) в цепи подключения УЗИП (например единицы или десятки ампер). Значение аварийного тока может меняться в течение времени вместе с меняющимся сопротивлением УЗИП, в зависимости от того увеличивается оно или уменьшается в процессе теплового разрушения. Дальнейшее развитие ситуации без ее локализации может привести к повреждению других расположенных в непосредственной близости к УЗИП элементов электроустановки, и даже к возникновению в ней пожара. Для разных типов УЗИП процесс повреждения может развиваться по различным сценариям.

В варисторных УЗИП, как правило, конструкцией предусматривается устройство отключения при перегреве варистора, называемое тепловым расцепителем (или терморасцепителем). Оно срабатывает, либо в случае старения (деградации) варистора, когда увеличиваются токи утечки и варистор медленно нагревается до заданного порогового значения температуры, либо при превышении фактического тока разряда через УЗИП над максимально допустимым, когда УЗИП при прохождении импульсного тока чрезмерно нагрелся, но еще не разрушился, а дополнительная энергия в него уже не поступает (импульсное воздействие закончилось). Практика показывает, что тепловые расцепители УЗИП не всегда успевают отреагировать в случаях воздействия временных перенапряжений U_t именно из-за тепловой

инерционности их конструкции. Особенно значимо это проявляется при значительном скачкообразном повышении напряжения сети. Варистор в большинстве случаев разрушается в течение нескольких десятков секунд, после чего режим замыкания может сохраняться через дуговые пробои во внутренней массе продуктов разрушения и горения.

У разрядников тепловые расцепители обычно вообще не предусматриваются конструкцией в виду их полной неэффективности. При этом, если в разряднике предусмотрена система индикации о его выходе из строя, то она дает информацию только лишь о повреждениях в цепи управления поджигающим электродом, а не о состоянии основного искрового промежутка. Как правило, цепь управления поджигом состоит из малогабаритных элементов: маломощного варистора, двухэлектродного газонаполненного разрядника и импульсного трансформатора. Именно работа этих элементов позволяет увеличить расстояние между электродами основного искрового промежутка и соответственно поднять рабочее напряжение разрядника U_c , что позиционируется производителем, как существенное повышение потребительских свойства изделия. Одновременно обеспечивается снижение времени реагирования t_a на величину менее 100 нс, что дает возможность достигнуть значения уровня напряжения защиты U_p не более 2,5 кВ при ряде импульсных воздействий и условно отнести разрядник к УЗИП класса I+II. Однако, обеспечивая несомненные плюсы, эти элементы как раз и являются самым слабым местом конструкции разрядника, а также повышают его сложность, стоимость, одновременно с увеличением числа компонентов, снижая его надежность. Именно эти элементы являются самыми незащищенными с точки зрения временных перенапряжений U_T . При их повреждении разрядник становится малоэффективным с точки зрения дальнейшей защиты от импульсных перенапряжений, его параметр U_p может возрасти до неприемлемых значений 4 кВ и выше. Приведенная информация не относится к газонаполненным разрядникам, имеющим другой принцип работы и не применяемым в цепях с фазным напряжением.

Требования к УЗИП при испытаниях на устойчивость к временным перенапряжениям

Многими производителями неоднократно заявлялось, что их УЗИП полностью защищены от жестких последствий описанных выше аварийных ситуаций, что на деле не подтверждается практикой. Все УЗИП для силовых низковольтных распределительных сетей, согласно ГОСТ Р 51992-2011 и ГОСТ ИЕС 61643-11-2013, должны проходить испытания на безопасную работоспособность и это должно декларироваться производителем в техническом паспорте на изделие. В ходе данных испытаний УЗИП подвергаются режиму перегрузки при помощи воздействия повышенных относительно номинальных значений рабочих токов и напряжений. Перед испытаниями УЗИП помещают в деревянный ящик, выложенный внутри марлей или папиросной бумагой. В результате повреждения УЗИП при испытаниях марля или папиросная бумага не должны загореться, а возникающие аварийные режимы работы УЗИП могут быть прекращены при помощи внутреннего (например, терморасцепитель) или внешнего (предохранитель или автоматический выключатель) разъединителя, предусмотренного производителем. Кроме этого, после испытаний не должно быть повреждений корпусов УЗИП, при которых станут доступны касанию стандартным испытательным щупом части УЗИП, находящиеся под напряжением, кроме тех, которые были доступны перед испытанием.

Основные параметры временных перенапряжений

Значения временных перенапряжений U_T зависят от значения U_0 данной системы электропитания, от ее типа (TN, TT или IT) и точек приложения этих перенапряжений в системе (L-N; L-PE или N-PE). Как уже говорилось ранее, основные критерии для определения величины U_T для разных вариантов включения УЗИП в сетях TN, TT, IT при повреждениях в высоковольтной низковольтной системах приведены в пп. 4.1.3 ГОСТ Р МЭК 61643-12-

2011, в главе 7 ГОСТ Р 55630-2013 и в разделе 442 ГОСТ Р 50571-4-44-2011. Последние требования МЭК сформулированы в таблице В.1 «Приложения В» стандарта ГОСТ IEC 61643-1-2013.

Например, УЗИП, предназначенные для установки в системе TN со значением $U_0=230$ В переменного тока 50 Гц, в цепях L-N или L-PE должны в течение не менее 5 секунд выдерживать временное испытательное перенапряжение U_T со значением не менее $U_0 \cdot 1,45$ (соответствует режиму однофазного КЗ в трехфазной системе электропитания TN).

$$U_T \geq U_0 \cdot 1,45 = 230 \cdot 1,45 = 333,5 \text{ В} \approx 335 \text{ В, в течение не менее 5 сек}$$

В пределах данного диапазона перенапряжения и времени воздействия УЗИП считаются безопасными в работе 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 не рассматривает, а практика бывает непредсказуемой.

В стандарте ГОСТ IEC 61643-11-2013, как один из вариантов временных перенапряжений в случае обрыва нулевого рабочего проводника рассматривается появление межфазного напряжения $U_0 \cdot \sqrt{3} = 400$ В на клеммах УЗИП, включенных в цепях L-N или L-PE. Обеспечить устойчивость УЗИП к такой аварийной ситуации можно применением УЗИП с параметром U_c , превышающим значение:

$$U_c > U_0 \cdot \sqrt{3} = 230 \cdot 1,73 = 398,4 \text{ В} \approx 400 \text{ В, с допуском (+10\%), т.е. } U_c > 440 \text{ В}$$

Однако, в данном случае надо учитывать, что при увеличении U_c возрастет и значение U_p , что вероятнее всего приведет к нарушению координации УЗИП со стойкостью изоляции защищаемого оборудования. Также при этом не гарантируется сохранность оборудования электроустановки, в силу того, что данный режим повреждения может сохраняться длительное время (согласно стандарта, до 120 минут). Обеспечить безопасность УЗИП и оборудования можно применением реле контроля напряжения фаз, управляющего контактором, который должен устанавливаться перед УЗИП по ходу энергии и подлежащим защите оборудованием. Непрерывность электроснабжения потребителя в данном случае будет нарушена. Если прерывание электроснабжения недопустимо из-за особой категоричности объекта, необходимо предусматривать резервные схемы энергоснабжения с использованием АВР, а также источников бесперебойного и гарантированного электропитания.

Опыт и статистика применения потребителями УЗИП разных производителей на промышленных объектах показала, что уровни воздействий, предусмотренные стандартами ГОСТ Р 51992-2011 и ГОСТ IEC 61643-11-2013, могут превышать в реальных условиях эксплуатации как по причине неправильного подбора типов УЗИП потребителем, так и под влиянием многих других 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 конструктивах, не допускающих распространения продуктов горения и разрушения УЗИП в аварийных ситуациях.

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.

На фотографии (рис. 1.6.1) показаны последствия аварийной ситуации, возникшей из-за ошибочных действий оперативно-ремонтного персонала при выполнении работ по обслуживанию ВЛ 10 кВ. В результате этих действий на низкой стороне ТП 10/0,4 кВ произошло скачкообразное повышение напряжения (временное перенапряжение), которое привело к срабатыванию, быстрому разогреву и последующему тепловому разрушению варисторов, установленных в распределительном щите и к возникновению в нем пожара. Устройства защиты от сверхтоков (автоматические выключатели, предохранители и т.п.) для защиты УЗИП от возникновения в них КЗ и перегрузок в данном случае были не предусмотрены. Внутренние терморасцепители варисторов, обладающие инерционностью и не предназначенные для отключения токов КЗ или перегрузок, не успели отработать и были деформированы или разрушены. Аварийные токи продолжали протекать через продукты разрушения варисторных УЗИП до момента отключения электроэнергии персоналом, проводившим работы на ВЛ 10 кВ.



Рис. 1.6.1 Выход из строя варисторного УЗИП привел к пожару в РЩ.

РАЗДЕЛ 1.7

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ СВЕРХТОКОВ (ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ, АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И УЗО) В ЦЕПЯХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ УЗИП

Общие положения

Описанные в предыдущем разделе аварийные режимы работы электроустановки могут быть минимизированы за счет грамотного применения совместно с УЗИП различных устройств защиты от сверхтока, таких как плавкие вставки (предохранители), автоматические выключатели и УЗО (УДТ). ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011 предоставляет информацию о некоторых режимах совместной работы УЗИП и устройств защиты от сверхтока. В данном случае учитываются 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 импульсных токов при срабатывании УЗИП в диапазоне их номинальных параметров, т.е. I_n , I_{max} или I_{imp} .

Если УЗИП расположено со стороны нагрузки УЗО, плавкого предохранителя или автоматического выключателя, оно не может обеспечить какую-либо защиту этих устройств от ложного расцепления, непредусмотренного срабатывания или повреждения вследствие прохода через них импульсных токов.

Координацию УЗИП с каким-либо устройством защиты от сверхтока или УЗО рекомендуется выполнять так, чтобы при номинальном импульсном разрядном токе I_n через цепочку «устройство – УЗИП – земля» это устройство защиты от сверхтока или УЗО не срабатывало.

Однако при токе, превышающем значение I_n (заявленном для конкретного УЗИП), допускается, что устройство защиты от сверхтока может сработать. При этом имеющее возможность повторного включения устройство защиты от сверхтока, такое как автоматический выключатель, не должно повреждаться импульсом, т.е. оно может быть повторно включено. Благодаря тому, что УЗО или автоматический выключатель срабатывают только через определенное время, через них успеет пройти полностью весь импульс тока, даже если они отключатся. Это было подтверждено серией экспериментов, проведенных в испытательной лаборатории ЗАО «Хакель Рос» на генераторах импульсных токов (ГИТ) с импульсами тока волны 8/20 и 10/350 мкс. Воздействиям подвергались автоматические выключатели и плавкие вставки разных моделей и производителей, с различными времятоковыми характеристиками, номинальными токами, уставками и отключающими способностями.

В процессе испытаний импульсные токи пропускались в различных комбинациях: непосредственно только через устройства защиты от сверхтоков; через цепочки, состоящие из последовательно включенных с ними УЗИП ограничивающего (варисторы) или коммутирующего (разрядники) типа. При этом надо отметить, что для последовательных электрических цепей, согласно законам электротехники, токи, протекающие через устройства защиты от сверхтоков и УЗИП, будут равны, что очень важно для дальнейшего рассмотрения полученных результатов. Схема испытаний приведена на рисунке 1.7.1.

В канале 1 осциллографа через делитель напряжения фиксировалось остающееся напряжение U_{res} на испытываемой цепочке. В канале 2 при помощи измерительного трансформатора фиксировалось амплитудное значение импульсного тока I через УЗИП и устройство защиты от сверхтока. На осциллограмме данное значение отображалось в виде эквивалентной кривой напряжения $1 \text{ В} \Leftrightarrow 1 \text{ кА}$. Некоторые результаты испытаний будут рассмотрены ниже.

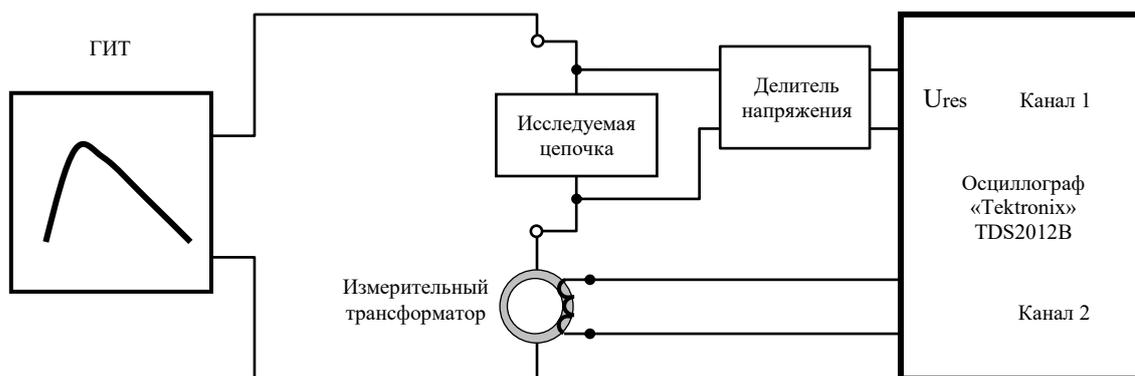


Рис. 1.7.1. Схема для испытаний устройств защиты от сверхтоков на устойчивость к прохождению импульсных токов волны 8/20 и 10/350 мкс

Срабатывание УЗО или автоматического выключателя вследствие прохождения импульсного тока не должно рассматриваться как отказ УЗИП, поскольку электроустановка при воздействии импульсного тока и напряжения остается защищенной. Это не относится в полной мере к плавким вставкам, где отсутствует инерционность при отключении. Соответственно, разрушение плавкой вставки может произойти во время прохождения импульса тока и перенапряжение не будет ограничено УЗИП во всем временном интервале импульсного воздействия, что может привести к повреждению защищаемого оборудования.

Отключение устройств защиты от сверхтоков, обеспечивающих защиту электроустановки от коротких замыканий, вследствие прохождения импульсных токов через УЗИП, которые установлены после них по ходу электроэнергии, будут приводить к перерывам в электроснабжении потребителей. Если такие режимы работы неприемлемы для потребителя, нужно использовать специальные схемотехнические решения по включению УЗИП или более тщательно подбирать устройства защиты от сверхтока по их устойчивости к импульсным токам.

Так же, применяя устройства защиты от сверхтока, необходимо учитывать, что при их последовательном подключении с УЗИП коммутирующего типа (разрядниками) в момент их срабатывания возникает сопровождающий ток I_f , который будет вызывать отключение устройств защиты от сверхтока, если данное УЗИП не имеет конструктивного решения по самогашению дугового разряда. В этом случае может потребоваться координация с устройствами защиты от сверхтока, включенными до УЗИП.

Применение предохранителей в схемах с УЗИП

Применение предохранителей совместно с УЗИП разных классов, обладающих различными импульсными характеристиками, рассмотрено в стандарте ИЕС 61643-12:2008 в «Приложении Р». Надо отметить, что действующий в настоящее время в России стандарт ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011 идентичен предыдущей версии стандарта МЭК: ИЕС 61643-12:2002, и в нем данное приложение отсутствовало.

«Приложение Р» стандарта ИЕС 61643-12:2008 рассматривает возможность применения предохранителей совместно с УЗИП, основываясь на характеристике теплового действия тока, которое вызывает расцепление предохранителя. Эта характеристика называется «Интегралом Джоуля» - I^2t , представляет собой интеграл квадрата силы тока по данному интервалу времени (t_0, t_1) и рассчитывается по формуле:

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

Используя расчетные значения Интеграла Джоуля для предохранителей (в интервале времени 1 мс) от производителя предохранителей, можно предположить, что они будут соответствовать волне короткого одиночного разряда (импульса) тока при грозовом воздействии. Проведенные расчеты подтвердили данное предположение, которое было дополнительно проверено необходимыми экспериментами. Результаты этих расчетов и экспериментов сведены в стандарте в таблицу, которая ставит в соответствие между собой основные типы конструктивного исполнения предохранителей и значения импульсных токов волн 8/20 и 10/350 мкс. Таким образом, зная основные параметры УЗИП по их возможности пропускать без повреждений или разрушений импульсные токи, можно подобрать к ним предохранители, которые так же будут пропускать эти импульсные токи без расщепления. Стандартом рекомендуется устанавливать последовательно с устройствами защиты от импульсных перенапряжений предохранители с характеристиками срабатывания gG. Результаты исследования сведены в таблицу 1.7.1.

Таблица 1.7.1

Номинальный ток предохранителя	Значения Интеграла Джоуля и амплитуды импульсных токов							
	Для цилиндрических предохранителей. Характеристика gG				Для ножевых предохранителей NH типа. Характеристика gG			
	Интегр. Джоуля $I^2 t$	Расчетное значение тока 8/20	Эксперим. значение тока 8/20	Отношение	Интегр. Джоуля $I^2 t$	Расчетное значение тока 10/350	Эксперим. значение тока 10/350	Отношение
	(A ² c)	(кА)	(кА)		(A ² c)	(кА)	(кА)	
25	800	7,6	5	0,66				
32	1 300	9,6	7	0,73				
40	2 500	13,4	10	0,75				
63	7 500	23,1	17	0,73				
80	14 500	32,2	25	0,78				
100	24 000	41,4	30	0,72	20 000	8,8	5	0,57
125	40 000	53,4	40	0,75	33 000	11,3	7	0,62
160					60 000	15,3	10	0,65
200					100 000	19,75	15	0,76
250					200 000	27,93	20	0,72
315					300 000	34,21	25	0,73

При этом следует отметить, что в колонке «Расчетное значение» указаны значения токов при однократных воздействиях, а в колонке «Экспериментальное значение» указаны токи, которые были получены в результате испытаний УЗИП с соответствующими предохранителями. Так как согласно стандарта ГОСТ Р 51992-2011 (IEC 61643-1:2005), испытания УЗИП должны проводиться в комплексе с предусмотренными производителем устройствами защиты от сверхтоков, то реальные данные полученные при испытаниях совместно с предохранителями привели к тому, что расчетные номиналы их были снижены. В испытательной

лаборатории ЗАО «Хакель Рос» были выборочно проведены аналогичные испытания, которые подтвердили данные, внесенные в таблицу «Приложения Р» стандарта IEC 61643-12:2008.

Номиналы предохранителей и тип их времятоковых характеристик определяются конкретным производителем УЗИП и отражаются в технической документации. Как уже указывалось выше, для этих целей обычно используются предохранители с характеристикой gG, предназначенные для защиты проводников и коммутационного оборудования от перегрузок и коротких замыканий. Они обладают значительно меньшим временем срабатывания по сравнению с автоматическими выключателями тех же номиналов. При этом предохранители имеют более высокую стойкость к импульсным токам значительных величин, соответственно являются более простыми и надежными по конструкции.

На рисунке 1.7.2 показан вариант включения предохранителей в схему электроустановки. Допустим, что по предварительным расчетам ожидаемые максимальные токи растекания при грозовом разряде для данного объекта составляют 25 кА волны 10/350 мкс в каждом проводе электропитающей линии. Соответственно для защиты выбраны комбинированные УЗИП класса I+II+III модели ГСВ123-230/25 3+0 и далее стоит вопрос подбора предохранителей для данного схемного решения.

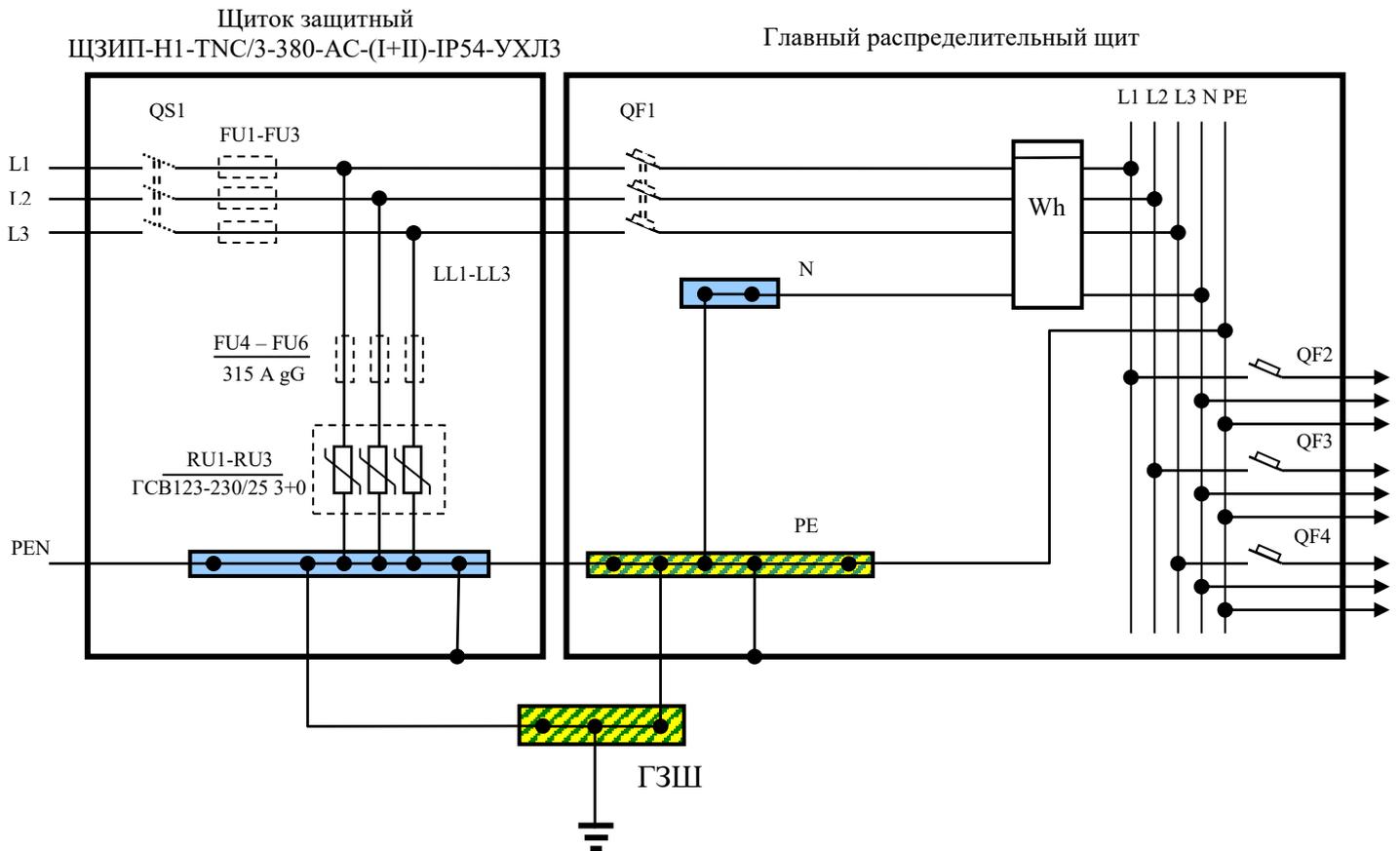


Рис. 1.7.2 Применение предохранителей для защиты УЗИП

Примерный вариант выбора номиналов предохранителей для УЗИП, примененных в схеме, рассмотренной на рисунке 1.7.2 приведен ниже.

Для волны 10/350 мкс экспериментальное значение тока с амплитудой 25 кА соответствует предохранителю номиналом 315 А (см. Таблицу 1.7.1).

Таким образом:

- При номинале предохранителей FU1-FU3 более 315 А gG, номиналы FU4-FU6 выбираются равными 315 А gG;
- При номинале предохранителей FU1-FU3 менее 315 А gG, предохранители FU4-FU6 можно не устанавливать, обязательно учитывая тот факт, что перегорание предохранителей FU1-FU3 приведет не только к отключению УЗИП, но и самого потребителя. При этом импульсный ток в цепи питания потребителя оборвется, что обеспечит его последующую работоспособность после замены сгоревших предохранителей.
- При номинале предохранителей FU1-FU3 менее 315 А gG и принятии решения об установке предохранителей FU4-FU6 номинала меньшего, чем номинал FU1-FU3 (исходя из условий селективности в режиме КЗ), под воздействием импульсного тока $I_{imp} = 25$ кА (10/350 мкс), будут в первую очередь перегорать предохранители FU4-FU6. При отключении предохранителей FU4-FU6, соответственно, будут отключаться от защищаемой цепи 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 импульсного тока при этом будет протекать непосредственно в оборудование после отключения цепочки «FU4-FU6 – УЗИП» и до момента отключения FU1-FU3, и вызовет ли этот ток повреждение оборудования. Вероятнее всего изоляция оборудования будет пробита.
- 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 (как вариант, автомат или предохранитель в секции на подстанции). Либо, как и в предыдущем случае, появляется необходимость установки предохранителей FU4-FU6. Они выбираются с учетом того, что номинал предохранителей в данной ситуации должен зависеть, как от величины ожидаемых импульсных токов, так и от значения расчетных токов КЗ в точке установки УЗИП. При этом токи КЗ могут оказаться очень маленькими для нормального отключения предохранителя, выбранного по значению импульсных токов. В этом случае от установки предохранителей следует отказаться, так как смысл в завышении их параметров просто теряется, а в некоторых ситуациях может привести к их неотключению при аварийных воздействиях временных перенапряжений (см. информацию в разделе 1.6). Защита от КЗ в этом случае будет осуществляться устройством защиты от сверхтока, установленным в начале электрической цепи.

Результаты лабораторных испытаний предохранителей

На осциллограммах (рис. 1.7.3) желтым цветом показаны кривые срабатывания предохранителей разных номиналов при воздействии $I_{imp} = 20$ 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. Незначительность подъема напряжения обусловлена очень низким сопротивлением нагрузки. Однако для наглядности этого достаточно.

В данных режимах испытаний корпуса предохранителей не разрушались физически. Однако при попытке испытать предохранитель с $I_N = 25$ А gG импульсом тока $I_{imp} = 20$ кА (10/350 мкс), он был разрушен на отдельные фрагменты с выделением энергии в виде пламени и взрывного разлета осколков керамического корпуса, что является крайне опасным

как для оборудования, так и для обслуживающего персонала. Из чего следует, что вопрос правильного выбора предохранителей является чрезвычайно важным для безопасной работы УЗИП и всей электроустановки в целом.



а) $I_N = 315$ A gG, предохранитель цел



б) $I_N = 160$ A gG, предохранитель сгорел через ≈ 200 мкс после начала импульса



в) $I_N = 125$ A gG, предохранитель сгорел через ≈ 80 мкс после начала импульса



г) $I_N = 100$ A gG, предохранитель сгорел через ≈ 60 мкс после начала импульса

Рис. 1.7.3 Осциллограммы испытания предохранителей

Применение автоматических выключателей в схемах с УЗИП

При очевидных достоинствах предохранителей значительная часть электроустановок оборудуется устройствами защиты от сверхтоков (УЗСТ) многократного действия, то есть автоматическими выключателями (АВ) либо их комбинацией с УЗО. Каким образом реагируют данные устройства на импульсные токи больших амплитуд и различной длительности (формы волны), необходимо разобрать отдельно.

Вопросы применения АВ и УЗО совместно с УЗИП в полной мере не рассматриваются ни в одном из существующих отечественных или зарубежных стандартов. «Приложение Р» стандарта IEC 61643-12:2008 объясняет этот факт очень большим разнообразием технических и конструктивных решений, предлагаемых производителями данных устройств. Соответственно даже при кажущейся схожести параметров АВ из разных линеек продукции, предлагаемых одним производителем, устойчивость к импульсным токам у них будет существенно отличаться.

Необходимо отметить, что решение проблемы защиты электроустановок от сверхтоков при аварийных режимах работы УЗИП достаточно разнообразно. Обычно производители, специализирующиеся исключительно на разработке УЗИП, предлагают в качестве УЗСТ использовать плавкие вставки в соответствии с рекомендациями IEC 61643-12:2008.

Производители, имеющие в линейках своей продукции как УЗИП, так и АВ, в большинстве случаев рекомендуют различные комбинации их совместного применения при воздействии стандартными волнами импульсных токов. Но при этом они не публикуют каких-либо подтверждающих результатов контрольных испытаний, что в итоге приводит к варианту выбора способа защиты электроустановки от аварийных режимов работы УЗИП либо на основе инженерной интуиции проектировщика, либо на основе доверия потребителя к рекомендациям данного конкретного производителя.

Опыт эксплуатации и данные экспериментальных исследований в испытательной лаборатории ЗАО «Хакель Рос» показывают, что автоматические выключатели довольно часто повреждаются при протекании через них импульсных токов с амплитудами более 1 кА. При этом (в большей или меньшей степени) происходит подгорание контактных площадок, что может приводить к увеличению переходного сопротивления и перегреву контактных групп при последующем протекании рабочих токов питающей сети. Так же известны случаи приваривания контактов друг к другу при прохождении импульсных токов с большими амплитудами и энергиями. И в том, и в другом случае автоматический выключатель не сможет в дальнейшем выполнять свои функции. Кроме этого, при установке автоматических выключателей последовательно с УЗИП (вместо плавких вставок FU4-FU6 на рис. 1.7.2) за счет элементов их внутренней конструкции, имеющих индуктивные свойства, а, следовательно, и повышенное индуктивное сопротивление при протекании импульсных токов, в точках подключения данной цепочки к защищаемой линии может повышаться значение остающегося напряжения, приложенного к нагрузке.

В испытательной лаборатории ЗАО «Хакель Рос» была произведена серия экспериментов по определению устойчивости автоматических выключателей разных типов и производителей к импульсным перенапряжениям и токам. Испытания проводились с целью выбора автоматов для совместного использования с УЗИП производства ЗАО «Хакель Рос». Результаты, полученные в результате тестов, показали, что практически все автоматические выключатели модульного типа разных производителей (иногда называемые бытовой серией АВ) отключаются при прохождении импульсных токов I_{imp} формы 10/350 мкс в диапазоне от 1 до 2 кА. Значения отключающей способности I_{cu} для экспериментов были взяты 6, 10 и 15 кА. При этом механическая часть АВ продолжала функционировать, контактные группы при нескольких срабатываниях в роли искрового промежутка были значительно подгоревшими. Переходное сопротивление на момент выполнения данной серии тестов не проверялось. Состояние внутреннего механизма автомата после нескольких импульсных воздействий током волны 10/350 мкс показано на рисунке 1.7.4.



Рис. 1.7.4 Автоматический выключатель после нескольких воздействий импульсным током

При повышении амплитуды импульсных воздействий волной тока 10/350 мкс выше 5 кА, образцы АВ некоторых производителей подвергались разрушению с внешними повреждениями корпуса.

При прохождении импульсных токов I_n волны 8/20 мкс значения токов отключения колебались в диапазоне от 12 до 35 кА в зависимости от модели автоматических выключателей и их производителя.

Промежуточным результатом исследований стал выбор для использования в проектных решениях автоматических выключателей в литых корпусах одного из известных производителей, имеющих отключающую способность I_{cu} не менее 40/25 кА для сетей 230/400 В, соответственно. Они лучше всего показали себя при совместной работе, как с УЗИП класса I+II (например с устройствами ГСВ123-230/25 и их модельным рядом), так и без УЗИП. Отключение не происходило при воздействии на последовательную цепь из автомата и УЗИП импульсным током I_{imp} до 20 кА (10/350 мкс) включительно. Что соответствует импульсным характеристикам УЗИП класса I+II в большей части их диапазона импульсных токов. В диапазоне импульсных токов до 25 кА (10/350 мкс) не отключались автоматические выключатели с отключающей способностью $I_{cu} = 85/50$ кА, соответственно для сети 230/400 В. Искрение на токах до 5 кА (волны 10/350 мкс) практически не возникало, но с повышением значений тока до 20 кА контакты таких АВ также подвергались нагреву и частичному оплавлению (Рис. 1.7.5). При этом был сделан вывод о том, что значения номинальных токов автоматов такой конструкции особой роли уже не играют, так как они рассчитаны на величины от 160 А и более, а их уставки чаще всего могут регулироваться перед установкой в конкретную электрическую цепь и иметь значения от 16 А и выше.



Рис. 1.7.5 Контакты автоматического выключателя после воздействия импульсного тока 20 кА (волны 10/350 мкс)

Основной вывод при исследовании возможности использования автоматических выключателей совместно с УЗИП состоит в том, что на их устойчивость к импульсным токам влияет прежде всего конструкция электромагнитного расцепителя и массогабаритные показатели клемм, внутренних шин, дугогасящих камер и в особенности контактных групп автомата. Некоторые специалисты ставят вопросы о форме контактов, которая обязательно должна быть учтена с точки зрения распределения высокочастотных импульсных токов ближе к поверхности металлических проводников (так называемого скин-эффекта).

Дальнейшие вопросы, связанные с применением автоматических выключателей в цепях подключения УЗИП на данный момент времени, находятся в стадии изучения. Сложность данного процесса заключается в том, что каждый производитель имеет свои конструктивные решения и ноу-хау. Высокая стоимость отдельных изделий и отсутствие их в свободной продаже делают подобные испытания чрезвычайно дорогими и долгосрочными. В результате они, как правило, происходят под конкретного заказчика, желающего подобрать для своих проектных решений конкретные УЗИП и конкретные устройства защиты от сверхтоков, закладывая стоимость таких испытаний в свои сметные расчеты.

Применение устройств защитного отключения (УЗО) в схемах с УЗИП

Способность УЗО противостоять импульсным токам при использовании этих устройств в сетях совместно с УЗИП не задается, за исключением УЗО типа S, которые в соответствии с их собственными стандартами (ГОСТ Р 51326.1 и ГОСТ Р 51327.1) должны выдерживать импульс 3 кА формой волны 8/20 без расцепления. Устройства защиты от импульсных перенапряжений классов I и II должны быть включены до УЗО (по ходу энергии), как показано на рисунке 1.7.6. Таким образом, их срабатывание не вызовет ложного отключения УЗО. Устройства защиты класса III могут быть установлены после УЗО (по ходу энергии), если ожидаемые импульсные токи через них не превысят значения 3 кА волны 8/20 мкс.

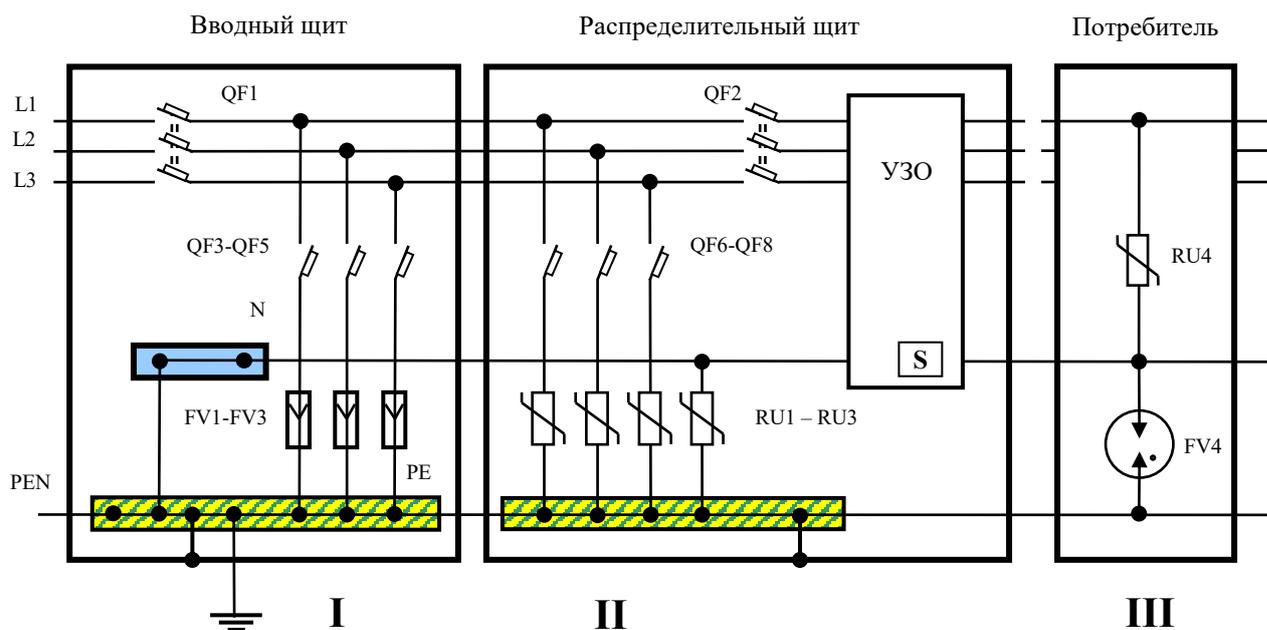


Рис. 1.7.6. Установка АВ, УЗО и УЗИП в TN-C-S сеть 230/400 В

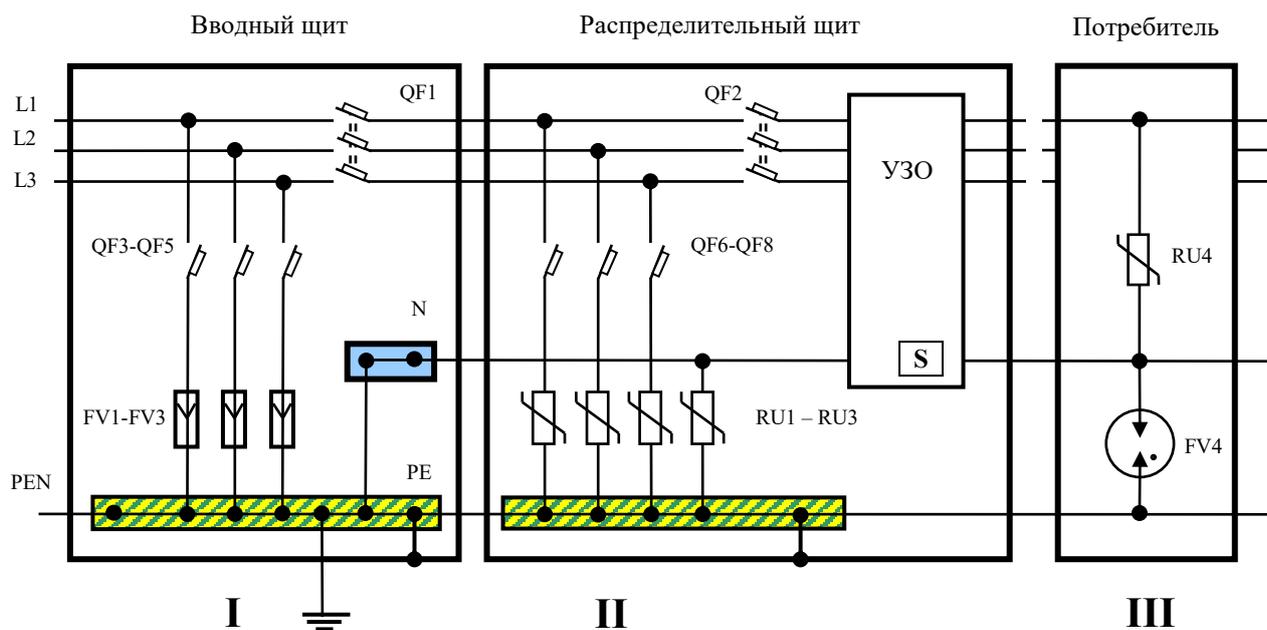


Рис. 1.7.7. Альтернативный вариант установки АВ, УЗО и УЗИП в TN-C-S сеть

Выводы:

Рассмотрев разные комбинации включения автоматических выключателей и УЗО при их совместной работе с УЗИП, можно утверждать следующее:

- Срабатывание АВ или УЗО при прохождении через них импульсных токов при совместной работе с УЗИП не должно рассматриваться как отказ УЗИП, поскольку электроустановка в момент воздействий импульсного тока и напряжения остается защищенной. Но сработавший автомат или УЗО должны быть повторно включены, что является достаточно большим недостатком такого схемного решения.
- Возможные отключения вводных автоматических выключателей, включенных по аналогии с QF1 (рис. 1.7.6), вследствие прохождения импульсных токов через УЗИП, которые установлены после них по ходу электроэнергии, будут приводить к перерывам в электроснабжении потребителей. Если такие режимы работы неприемлемы для электроустановки, нужно тщательно подбирать вводной автомат по его устойчивости к импульсным токам волны 10/350 мкс, не забывая об обеспечении селективности с ним по токам короткого замыкания автоматов QF3–QF5, которые включены непосредственно в цепи УЗИП и при этом должны обладать необходимой устойчивостью к импульсным токам волны 10/350 мкс.
- Как альтернативный вариант, можно использовать специальные схемотехнические решения по включению УЗИП с автоматами QF3–QF5 до вводного автомата QF1 (рис. 1.7.7). При этом автоматы QF3–QF5 должны быть устойчивы к ожидаемым импульсным токам волны 10/350 мкс и способны отключать токи КЗ данной линии электропитания в точке своей установки. Требования по импульсным токам к вводному автомату QF1 могут быть снижены до условий координации с УЗИП второй ступени, и скорее всего речь уже будет идти об устойчивости к импульсным токам волны 8/20 мкс (бытовая серия АВ).
- Применяя устройства защиты от сверхтока, необходимо учитывать, что при их последовательном подключении с УЗИП коммутирующего типа (разрядниками) в момент их срабатывания может возникать сопровождающий ток со значениями до нескольких кА (в зависимости от мощности источника и расчетного тока КЗ в точке установки разрядника). Сопровождающий ток будет вызывать отключение УЗСТ, если данное УЗИП не имеет конструктивного решения по самогашению дугового разряда сразу же после окончания импульсного тока. В этой ситуации необходимо четко понимать, что, если производителем указана способность данного УЗИП на основе разрядника гасить сопровождающий ток больших величин таким образом, что его протекание не успеет вызвать срабатывание АВ или предохранителя номиналом 25 А, это лишь указывает на способность разрядника быстро и хорошо гасить сопровождающий ток источника питания большой мощности. Но выбор АВ с точки зрения воздействия импульсных токов придется осуществлять с учетом всех изложенных выше критериев, связанных с параметром интеграла Джоуля - I^2t , и каких-либо чудес от применения разрядника в данном случае ожидать не следует.

Примечание. При испытаниях, согласно требованиям ГОСТ Р 51992-2011, сопровождающий ток может инициироваться воздействием на разрядник, находящийся под напряжением U_c , импульсным током I_n волны 8/20 мкс, который на самом деле не вызывает отключение у большинства модульных АВ с номинальным током 25А. Но это совершенно не означает того, что импульсный ток при реальном грозовом воздействии (волны 10/350 мкс) не отключит, а в некоторых случаях не разрушит данный автомат или предохранитель, что было четко подтверждено испытаниями, описанными выше.

РАЗДЕЛ 1.8

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ТИПА УЗИП ДЛЯ УСТАНОВКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЯХ

1) В качестве первой (основной) ступени защиты рекомендуется устанавливать:

- **при воздушном вводе электропитания, вне зависимости от наличия внешней системы молниезащиты (СМЗ).**

В этом случае, когда возможно прямое попадание молнии в провода линии электропередачи в непосредственной близости от объекта, рекомендуется на вводе в электроустановку устанавливать искровые разрядники, способные пропускать через себя импульсные токи волны 10/350 мкс с амплитудным значением до 50 кА и гасить сопровождающие токи величиной до 4 кА, а также обеспечивать уровень защиты $U_p \leq 4$ кВ (например, многоззорные угольные искровые разрядники без выброса ионизированных газов типа HS55).

- **при подземном вводе электропитания и при наличии внешней системы молниезащиты (СМЗ).**

В этом случае, когда существует вероятность прямого попадания молнии в СМЗ, рекомендуется на вводе в электроустановку устанавливать комбинированные УЗИП класса I+II+III, способные пропускать через себя импульсные токи волны 10/350 мкс с амплитудным значением 12 - 25 кА и при этом обеспечивать уровень защиты $U_p \leq 1,2$ кВ (например, устройства серии ГСВ123-230/25). При этом желательно произвести предварительную оценку токов растекания по методике, приведенной в Разделе 1.3.

- **при отсутствии внешней системы молниезащиты – рекомендуется ее установить, так как прямой удар молнии в этом случае, как правило, приводит к динамическим воздействиям на строительные конструкции объекта, а также может вызвать пожар за счет искрения и перекрытия воздушных промежутков между токопроводящими элементами объекта.**

2) В качестве второй ступени защиты в цепях L – N рекомендуется использовать устройства класса II на базе варисторов с устойчивостью к импульсным токам 20-50 кА волны 8/20 мкс и уровнем защиты $U_p \leq 2,5$ кВ (например, однофазные устройства ГСВ2-230/50, ГСВ2-280/50 или трехфазные устройства ГСК2-230/50 3+1, ГСК2-280/50 3+1). В цепях N – PE рекомендуется применять газонаполненные металлокерамические разрядники, способные выдерживать импульсные токи с амплитудой 20-40 кА волны 8/20 мкс. Сопровождающие токи в цепях N – PE не возникают, поэтому в данном случае могут применяться разрядники с I_n равным 100 – 300 А (например, разрядники ГСГ2-230/20).

3) В качестве третьей ступени защиты используются модули с максимальным импульсным током 6-10 кА формы 8/20 мкс и уровнем защиты $U_p \leq 1,5$ кВ (например, ГСДЗ-230/TNC; ГСДЗ-230/TNS; Pk2, P-3k230 и другие). Так же в случаях сложной электромагнитной обстановки могут применяться УЗИП класса III, включающие в себя дополнительно помехозаградительный фильтр на полосу частот в диапазоне 0,15 – 30 МГц (например, устройства серии PI-k8, PI-k32, PI-3k80 и др.).

4) Разделительные дроссели (при необходимости их применения) выбираются, исходя из величины максимальных рабочих токов нагрузки, например: 16, 32, 63 или 120А (PI-L16/15, PI-L32/15, PI-L63/15)

Более подробная информация приведена в каталоге или на интернет-сайте: www.hakel.ru

Для упрощения выбора типов и моделей УЗИП в каталоге продукции компании «Хакель Рос» предусмотрена специальная таблица.

ВНИМАНИЕ! При измерениях, производимых на электроустановке, когда методикой измерений предусматриваются испытания высокими напряжениями (например, проверка сопротивления изоляции проводов) необходимо отключать защитные устройства от электроустановки. Несоблюдение этого правила приведет к искажению результатов измерения или в худшем случае к выходу из строя устройств защиты от импульсных перенапряжений.

ГЛАВА 2

ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ГРОЗОВЫХ И КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

РАЗДЕЛ 2.1

КРАТКИЙ ОБЗОР НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ

В Главе 1 был приведен список основных отечественных и международных нормативных документов, которые содержат общие принципы защиты от грозовых и коммутационных импульсных перенапряжений. Тем не менее, существует множество различий и особенностей в рассмотрении данных вопросов касательно оборудования силовых распределительных сетей и оборудования обработки информации. При одинаковых уровнях воздействий, приложенных к этим принципиально разным системам, последствия для их функционирования могут серьезно отличаться. В первом случае, воздействие может быть воспринято как помеха, даже не всегда приводящая к сбоям в работе силового оборудования, во втором случае, это же воздействие может привести к значительным повреждениям и полному выходу из строя информационных систем (ИС).

Более подробно принципы защиты информационных систем (связи, АСУ ТП, телемеханики и т.п.) будут рассмотрены ниже.

Основными международными (независимыми) организациями, разрабатывающими и издающими различные нормативные документы, определяющие правила построения структуры объектов обработки информации, являются:

- IEC (International Electrotechnical Commission) - Международная Электротехническая Комиссия (МЭК). Разрабатывает и издает стандарты;
- ITU-T (International Telecommunications Union – Telecommunications standardization sector) – Сектор стандартизации телекоммуникаций Международного Союза Электросвязи (МСЭ-Т). Разрабатывает и издает технические стандарты или рекомендации;
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute) - Европейский институт стандартов по телекоммуникациям. Разрабатывает и издает стандарты;
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) - Институт инженеров по электротехнике и электронике. Разрабатывает и издает стандарты

Стандарты, издаваемые перечисленными выше организациями, связаны между собой и в большинстве своем являются ссылочными документами друг для друга. Основными документами из перечисленных выше стандартов являются ¹⁾:

- Стандарт IEC 62305-4:2010 «Защита от молнии. Часть 4. Электрические и электронные системы внутри конструкций»;
- ГОСТ IEC 61643-21-2014 «Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 21. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к телекоммуникационным и сигнализационным сетям. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний»;
- Стандарт IEC 61643-22:2015 «Low-voltage surge protective devices - Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Selection and application principles» (Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 22. Устройства защиты от перенапряжений, связанные с телекоммуникационными и сигнальными сетями. Принципы выбора и применения). В системе ГОСТ Р стандарт на данный момент не издан;

- Рекомендация ИТУ-Т К.12:2010 «Характеристики газонаполненных разрядников для защиты установок электросвязи»;
- Рекомендация ИТУ-Т К.20:2011 «Устойчивость телекоммуникационного оборудования, установленного в телекоммуникационном центре, к перенапряжениям и сверхтокам»;
- Рекомендация ИТУ-Т К.21:2011 «Устойчивость телекоммуникационного оборудования, установленного в помещениях заказчика, к перенапряжениям и сверхтокам»;
- Рекомендация ИТУ-Т К.27:1996 «Конфигурации соединения и заземление внутри сооружений электросвязи»;
- Рекомендация ИТУ-Т К.35:1996 «Конфигурация соединений и заземление в удаленных пунктах электронного оборудования»;
- Рекомендация ИТУ-Т К.45:2011 «Устойчивость оборудования электросвязи, установленного в сетях доступа и магистральных сетях, к воздействию перенапряжений и сверхтоков»;
- Рекомендация ИТУ-Т К.65:2011 «Требования к перенапряжению и превышению тока для оконечных модулей с контактами для тест-портов или для устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП)»;
- Стандарт ETSI EN 300253 «Инжиниринг оборудования. Заземление и выравнивание потенциалов оборудования на объектах связи»;

Примечание: 1) Для международных нормативных документов приведены переводы названий.

Так же существует ряд Российских отраслевых и ведомственных нормативных документов, таких как:

- РД Министерства связи России 45.155-2000 «Заземление и выравнивание потенциалов аппаратуры ВОЛП на объектах проводной связи»
- СТО Газпром 2-1.11-290-2009 «Положение по обеспечению электромагнитной совместимости производственных объектов ОАО «Газпром» и др.
- РД-91.020.00-КТН-021-11 «Нормы проектирования молниезащиты объектов магистральных нефтепроводов и коммуникаций организаций системы «Транснефть»

Базовыми международными нормативными документами при производстве и применении УЗИП для систем обработки и передачи информации являются стандарты МЭК: IEC 61643-21: 2012-07 и IEC 61643-22:2015. В России, соответственно, должны выполняться требования ГОСТ IEC 61643-21-2014.

РАЗДЕЛ 2.2

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ И ИСТОЧНИКИ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОБЪЕКТЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Материалы, представленные в данном разделе, базируются на положениях стандарта ИЕС 61643-22:2015

Основными источниками влияний, которые представляют угрозу для информационных систем являются грозовые разряды и коммутационные процессы в системах электропитания всех классов напряжения, а также сопутствующие им электромагнитные поля. Все перечисленные воздействия вызывают появление в питающих и информационных линиях, подключенных к ИС, импульсных или длительных токов и перенапряжений. Способы воздействий (способы связи), помимо физической природы их возникновения, делят так же по принципу передачи энергии: на резистивный (кондуктивный), индуктивный или емкостной. Резистивный способ передачи энергии характерен для прямого удара молнии в объект или линию, либо для прямого контакта информационной линии с питающей энергосистемой. Индуктивные способы передачи энергии возникают при воздействии на линии и металлические конструкции электромагнитных полей. Емкостные способы характерны для параллельно проложенных проводников (в том числе первичных и вторичных обмоток трансформаторов), когда между ними происходит передача энергии при протекании высокочастотных импульсных токов.

В реальных условиях на объект, содержащий ИС, обычно одновременно действуют все перечисленные выше факторы, каждый на своем участке влияния, взаимно заменяя или дополняя друг друга.

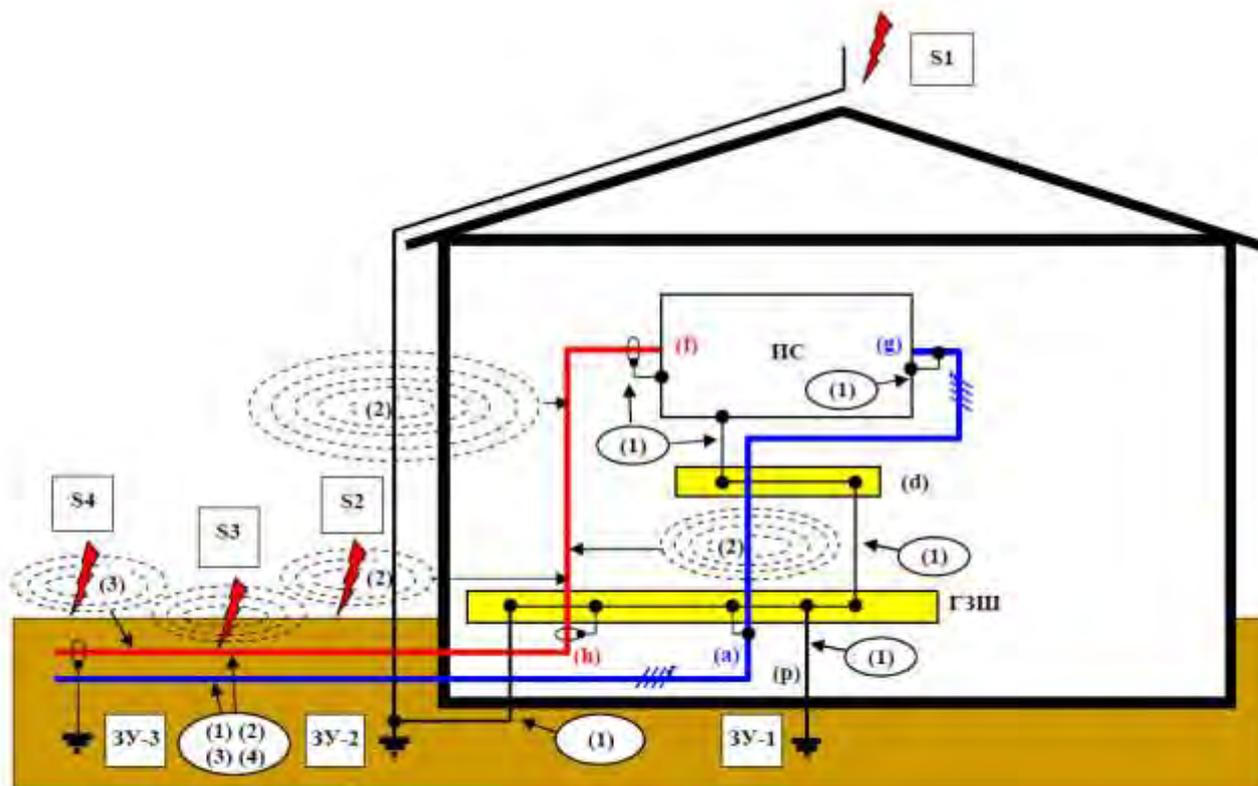
На рисунке 2.2.1 показан типовой объект, имеющий в своем составе ИС. Объект оснащен системой внешней молниезащиты (СМЗ), содержащей молниеприемник, токоотвод и молниезащитное заземляющее устройство (ЗУ-2). Так же имеется защитное заземляющее устройство (ЗУ-1) для обеспечения мер электробезопасности и правильности функционирования технологического оборудования. Защитное и молниезащитное ЗУ образуют объединенное ЗУ объекта через общую точку присоединения на главной заземляющей шине (ГЗШ). К объекту подключены две внешних линии: электропитания (а) и передачи информации (h). Защитный проводник (PEN) питающей линии и броневые (экранные) оболочки информационной линии так же подключены к ГЗШ, образуя эквипотенциальную структуру с системой внешней молниезащиты, объединенным ЗУ и системой уравнивания потенциалов объекта. Кроме этого важно учитывать следующий фактор – защитный проводник (PEN) питающей линии и броневая (экранная) оболочка информационного кабеля имеют связь с так называемой «удаленной» землей, соответственно, в точке заземления нейтрали трансформаторной подстанции и по всей длине прокладки информационного кабеля в земле (ЗУ-3).

Так же на рисунке 2.2.1 показаны пути, по которым энергия при ударе молнии попадает внутрь объекта, к портам подключения ИС. Для простоты рассмотрения принято, что стекание тока молнии в землю при прямом ударе молнии (ПУМ) в молниеприемник объекта (критерий S1), происходит по единственному токоотводу. При этом реализуются два способа передачи энергии резистивный (1) и индуктивный (2).

Резистивные воздействия (1) при ПУМ будут обусловлены сопротивлением объединенного ЗУ токам растекания, что в результате приведет к подъему потенциала на ГЗШ и далее на заземляющей клемме ИС. Появится режим перенапряжения между землей (корпусом) ИС и проводниками подключенных к его портам линий.

Индуктивные воздействия (2) возникнут в результате появления электромагнитного поля (ЭМП) большой интенсивности вокруг токоотвода СМЗ в момент протекания по нему грозового тока. Данное переменное ЭМП индуцирует импульсные токи в проводниках информационных и электропитающих кабелей, которые вызовут повышение потенциалов и, как

следствие, возникновение перенапряжения относительно земли (корпуса) на вводе в соответствующие им порты ИС. Похожее по своей сути электромагнитное воздействие возникнет при близком ударе молнии к структуре объекта (критерий S2).



Обозначения:

- | | |
|--|------------------------------------|
| ИС - информационная система | (d) - шина уравнивания потенциалов |
| ЗУ-1 - защитное заземляющее устройство | (a) - линия электропитания |
| ЗУ-2 - молниезащитное заземляющее устройство | (g) - порт электропитания ИС |
| ЗУ-3 - заземление брони (экрана) кабеля информационной линии | (h) - информационная линия |
| ГЗШ - главная заземляющая шина | (f) - информационный порт ИС |
| | (p) - заземляющий проводник |

Критерии:

- | | |
|-------------|--|
| (S1) | - прямой удар молнии в конструкции объекта |
| (S2) | - удар молнии в землю вблизи от конструкций объекта |
| (S3) | - прямой удар молнии в линию электропитания или передачи информации |
| (S4) | - удар молнии вблизи от линии электропитания или передачи информации |
| (1) ... (4) | - способ передачи электрического или электромагнитного воздействия |

Рис. 2.2.1 Способы передачи воздействий (способы связи) при грозовых и коммутационных переходных процессах

В большинстве случаев система молниезащиты имеет не один, а несколько токоотводов, и ток молнии будут делиться между ними в некоторой пропорции. В результате этого деления, амплитудные значения токов в каждом токоотводе будут значительно ниже и будут создавать вокруг себя меньшие по интенсивности электромагнитные поля, которые в свою очередь, будут вызывать меньшие по амплитуде индуктивные наводки в электропитающей и информационной линиях, подключенных соответственно к портам ИС. А при создании структуры СМЗ в виде клетки Фарадея электромагнитные поля, излучаемые диагонально противоположными токоотводами СМЗ, будут взаимно компенсировать друг друга, обеспечивая прак-

тически нулевую напряженность поля во внутреннем пространстве объекта, и сводить к минимуму воздействия индуктивных способов передачи энергии от токоотводов на проложенные внутри информационные и питающие кабели. При этом следует помнить, что вариант СМЗ в виде клетки Фарадея не позволяет в значительной степени компенсировать электромагнитные наводки внутри объекта, возникающие при прохождении по входящим снаружи кабельным линиям импульсных токов от близких не прямых ударов молнии (критерии S2, S3 и S4).

Удары молнии, соответствующие критерию S2, могут вызывать индуктивные (2) способы передачи энергии, как на металлические конструкции объекта, так и на входящие в него кабели.

Удары молнии, соответствующие критерию S3, могут вызывать, как резистивные (1) способы связи – при прямом попадании молнии в кабельную линию, так и индуктивные воздействия на структуру объекта (2) и прочие кабельные линии (3) снаружи и внутри объекта, особенно при их близкой параллельной прокладке к влияющей линии в кабельных лотках, на кабельных полках или кабельростах.

Удары молнии, соответствующие критерию S4, могут вызывать индуктивные способы передачи энергии при воздействии ЭМП на внешние кабельные линии при близких ударах молнии к ним.

Отдельно рассматривается влияние переменного тока (4) на ИС. В большинстве случаев этот тип воздействия является следствием аварийных ситуаций и заключается в попадании сетевого действующего напряжения в линии и оборудование передачи и обработки информации при повреждении изоляции и нарушении целостности цепей электропитания. Примером таких случаев являются повреждения изоляции при коротких замыканиях в распределительных щитах жилых домов, пожары, протечки водопроводов в зданиях и сооружениях, затопление оборудования при наводнениях и т.п. В данной статье эти воздействия рассматриваться не будут.

Основные взаимосвязи между источниками переходных процессов (грозовых и коммутационных видов) и способом передачи воздействия приведены в таблице 2 стандарта IEC 61643-22:2015.

Фрагмент таблицы 2 стандарта IEC 61643-22:2015

Источник воздействия	Прямой удар молнии в конструкции объекта		Удар молнии в землю вблизи от конструкций объекта	Прямой удар молнии в линию	Удар молнии в землю вблизи от линии	Влияние переменного тока (AC)
	(S1)		(S2)	(S3)	(S4)	
Способ передачи воздействия ¹⁾	Резистивный (1)	Индуктивный (2)	Индуктивный (2)	Резистивный (1)	Индуктивный (3)	Резистивный (4)
Форма волны напряжения (мкс)	-	1,2/50	1,2/50	-	10/700	50/60 Гц
Форма волны тока (мкс)	10/350	8/20	8/20	10/350	5/300	-
Категории тестов ²⁾	D1	C2	C2	D1	B2	A2
Примечания:						
1) Способы передачи воздействия (1) - (4) показаны на рисунке 2.2.1						
2) Параметры токов, напряжений и формы волн для каждой категории тестов рассмотрены в Таблице 3 ГОСТ IEC 61643-21-2014						

РАЗДЕЛ 2.3

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ И ПАРАМЕТРЫ УЗИП ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Основные типы, параметры и общие требования по применению УЗИП, предназначенных для защиты ИС, определяются в ГОСТ IEC 61643-21-2014; IEC 61643-22:2015; ГОСТ Р 51317.4.5-99; ГОСТ Р МЭК 60079-25; ГОСТ Р 50571.5.53-2013 и ГОСТ Р 50571-4-44-2011.

Основные типы УЗИП

Стандартом рассматриваются два основных типа УЗИП:

- УЗИП, которые в одном корпусе содержат не менее одного компонента, ограничивающего напряжение, и не содержат токоограничивающие компоненты;
- УЗИП, которые в одном корпусе содержат как ограничивающие напряжение, так и ограничивающие ток компоненты

Эти два основных типа УЗИП могут в зависимости от различных дополнительных факторов образовывать шесть подгрупп:

- УЗИП только с функцией ограничения напряжения;
- УЗИП с функциями ограничения напряжения и токоограничения;
- УЗИП с функцией ограничения напряжения и линейным компонентом между выводами;
- УЗИП с функциями ограничения напряжения и токоограничения и усиленной передающей способностью;
- УЗИП только с функцией ограничения напряжения, предназначенные для применения в окружающей среде с неограниченными условиями;
- УЗИП с функциями ограничения напряжения и токоограничения, предназначенные для применения в окружающей среде с неограниченными условиями.

Основные типы УЗИП могут быть классифицированы по количеству выводов, как: двухвыводные, трехвыводные, четырехвыводные, пятивыводные или многовыводные.

Основные термины и определения

УЗИП должны соответствовать требованиям конкретных систем передачи и обработки информации. Некоторые из параметров УЗИП могут оказывать существенное влияние на характеристики и качество работы ИС. Правильный выбор УЗИП для ИС должен основываться на следующих данных о защищаемых линиях передачи и оборудовании:

- номинальное и максимально возможное рабочее напряжение линии между проводами и относительно земли;
- номинальные и максимально возможные рабочие токи линии;
- возможное наличие в линии дистанционного питания (ДП) для удаленного оборудования;
- возможная организация фантомного ДП с его передачей между проводами разных пар в одном или в разных кабелях;
- частотный диапазон передаваемого сигнала для аналоговых линий;
- скорость передачи информации для цифровых линий (локальные сети, цифровые интерфейсы);

- возможность или невозможность внесения в линию дополнительного затухания (важно для измерительных цепей, контролирующих изменение активного сопротивления датчика (датчики температуры, тензометрические датчики и т.п.));
- требования по искробезопасности или взрывозащищенности к защищаемой цепи и оборудованию;
- количество защищаемых линий, их длину и количество проводов в линии;
- сечение и материал проводников кабельных линий (марку кабеля) и т.д.

При выборе УЗИП необходимо обращать внимание на следующие параметры, указанные производителем и соответствие их требованиям ГОСТ ИЕС 61643-21-2014 (курсивом выделены определения, взятые из стандарта):

1. **Максимальное длительное рабочее напряжение U_c** - (*maximum continuous operating voltage*): Максимальное напряжение (постоянного или действующего значения переменного тока), которое может длительно прикладываться к выводам УЗИП, не вызывая деградации передающих характеристик УЗИП.
2. **Защитный уровень напряжения U_p** - (*voltage protection level*): Параметр, характеризующий УЗИП в части ограничения напряжения на его выводах. Данное значение больше, чем наибольшее из измеренных ограничиваемых напряжений, и определяется изготовителем.
3. **Номинальный разрядный ток I_n** - (*nominal discharge current*): Пиковое значение тока, протекающего через УЗИП, с формой волны 8/20 мкс.
4. **Импульсный разрядный ток I_{imp}** - (*impulse discharge current*): Пиковое значение разрядного тока (10/350 мкс), протекающего через УЗИП.
5. **Суммарный разрядный ток I_{total}** - (*total discharge current*): Ток, который протекает через вывод заземления (общий вывод С) многовыводного УЗИП при испытаниях суммарным разрядным током. Его так же называют «суммарный импульсный ток».
6. **Номинальный ток** - (*rated current*): Максимальный ток, который устройство токоограничения УЗИП может длительно проводить без изменения полного сопротивления токоограничивающих компонентов. Это также касается линейных компонентов, включенных последовательно.
7. **Сопротивление изоляции** - (*insulation resistance*): Сопротивление между выводами УЗИП, к которым подается напряжение U_c .

Помимо основных электрических и импульсных характеристик УЗИП необходимо учитывать другие параметры, такие как:

- собственная индуктивность и емкость УЗИП (в случае исполнения УЗИП для применения в искробезопасных цепях);
- особые требования к конструктивному исполнению УЗИП (в случае его установки во взрывоопасных зонах);
- сопротивление изоляции УЗИП;
- возвратные потери;
- потери при вводе;
- вносимое в линию затухание;
- перекрестная наводка на передающем конце;
- максимальная скорость передачи для применения в цифровых линиях передачи данных;
- способность ограничивать при необходимости токи в линии;
- и др.

Превышение номинального тока в защищаемой линии над номинальным током УЗИП вызовет его выход из строя. Увеличение затухания в линии за счет установки в нее УЗИП с большим собственным затуханием может привести к неустойчивой работе ИС, а для измерительных цепей – к искажению результатов измерений. Повышенная емкость или индуктивность, кроме ограничения по применению УЗИП в искробезопасных цепях, приведут для аналоговых ИС к уменьшению полосы пропускания линии, а для цифровых систем обработки информации – к снижению скорости передачи

В связи с этим при необходимости, или если это заявлено производителем, УЗИП могут быть дополнительно испытаны на соответствие данным параметрам при помощи тестов, предлагаемых ГОСТ ИЕС 61643-21-2014.

Выбор типа и параметров УЗИП

УЗИП, предназначенные для защиты ИС, не подразделяются на классы по аналогии с УЗИП для силовых цепей, но также согласно Зонной концепции защиты могут при установке формировать ступенчатые схемы и привязываться к зонам молниезащиты (ЗМЗ).

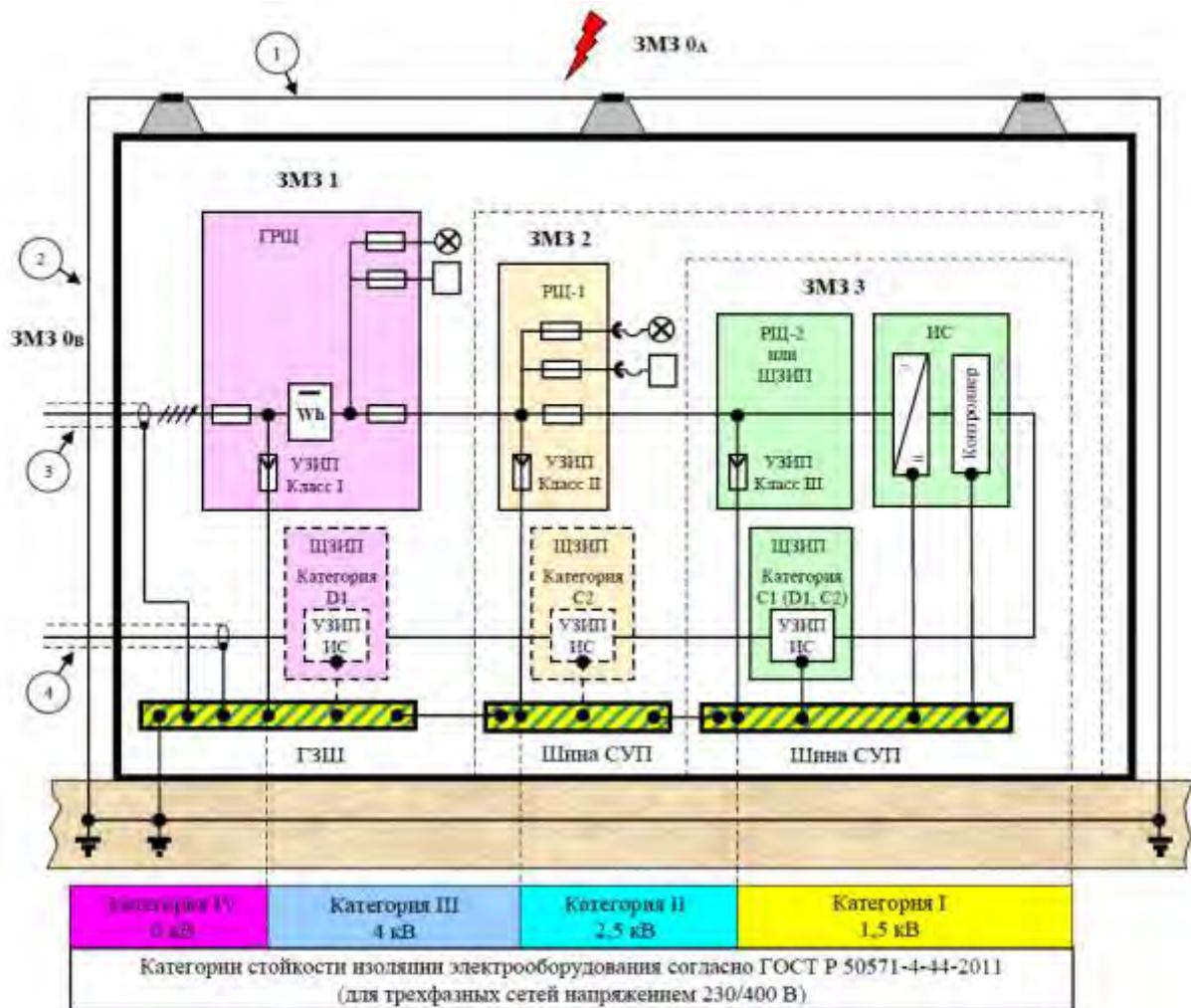
Основные электрические параметры УЗИП которые должны быть указаны производителем приведены в Таблице 3 ГОСТ ИЕС 61643-21-2014.

Фрагмент таблицы 3 ГОСТ ИЕС 61643-21-2014

Категория	Тип испытания	Напряжение открытого выхода испытательного генератора ¹⁾ (U_{oc})	Ток короткозамкнутого выхода испытательного генератора (I_{sc})	Минимальное число импульсов	Тестируемые выводы УЗИП
A2	Переменный ток	Испытание выбирается по таблице 5 ГОСТ ИЕС 61643-21-2014		Один цикл	X1 – С X2 – С X1 – X2 ²⁾
B2	Низкая скорость (крутизна) возрастания	от 1 до 4 кВ 10/700	от 25 до 100 А 5/320	300	
C1	Высокая скорость (крутизна) возрастания	от 0,5 до < 2,0 кВ 1,2/50	от 0,25 до < 1 кА, 8/20	300	
C2		от 2 до 10 кВ 1,2/50	от 1 до 5 кА 8/20	10	
C3		≥ 1 кВ 1 кВ/мкс	от 10 до 100 А 10/1000	300	
D1	Высокая энергия	≥ 1 кВ	от 0,5 до 2,5 кА 10/350	2	

1) Можно использовать напряжение U_{oc} , отличающееся от 1 кВ. Однако, оно должно быть достаточным для срабатывания испытуемого УЗИП.
2) Вывод «С» - общий (заземляющий) вывод УЗИП. Испытания между выводами X1 – X2 проводят только при необходимости.

Согласно ГОСТ ИЕС 61643-21-2014 УЗИП для ИС могут быть испытаны по нескольким категориям (смотри фрагмент таблицы 3 ГОСТ ИЕС 61643-21-2014), с применением стандартных волн напряжений и токов (данные категории должны быть впоследствии указаны производителем в технической документации на каждый конкретный тип УЗИП), что позволяет определить возможность использования УЗИП в соответствующих ЗМЗ (рисунок 2.2.2), а также их энергетическую координату с ожидаемыми импульсными воздействиями на порты ИС при грозовом ударе.



Обозначения, принятые на схеме:

- ГЗШ - главная заземляющая шина объекта;
- Шина СУП - шина системы уравнивания потенциалов в ЗМЗ 2 и ЗМЗ 3;
- ГРЩ - главный распределительный щит объекта;
- РЩ-1 - распределительный щит в зоне молниезащиты ЗМЗ 2;
- РЩ-2 - распределительный щит в зоне молниезащиты ЗМЗ 3;
- ЩЗНП - щиток защиты от импульсных перенапряжений с установленными УЗИП необходимого типа;
- ИС - информационные системы;
- 1 - молниеприемник системы молниезащиты объекта;
- 2 - токоотвод системы молниезащиты объекта;
- 3 - ввод кабелей электроснабжения;
- 4 - ввод кабелей телекоммуникационных и сигнальных (информационных) сетей
- / - обозначение линейного проводника;
- ⎓ - обозначение совмещенного нулевого рабочего и нулевого защитного проводника (PEN);
- ⎓ - УЗИП для установки в низковольтных силовых распределительных сетях;
- ⎓ - УЗИП для установки в телекоммуникационных и сигнальных (информационных) сетях;

Рис. 2.2.2. Взаимосвязь между зонами молниезащиты (ЗМЗ), классами УЗИП и категориями стойкости изоляции оборудования к импульсным перенапряжениям

Категория D1 соответствует резистивному (кондуктивному) способу возникновения импульсного тока в защищаемой линии при ПУМ в конструкции объекта или непосредственно во входящую в объект линию. УЗИП, испытанное на воздействие категории D1 может быть установлено на границе ЗМЗ 0_A (0В) и ЗМЗ 1.

Категория С2 соответствует индуктивному способу возникновения импульсного тока в защищаемой линии при ПУМ в конструкции объекта или вблизи от него. УЗИП, испытанное на воздействие категории С2 может быть установлено на границе ЗМЗ 1 и ЗМЗ 2.

Категория С1 также соответствует индуктивному способу возникновения импульсного тока в защищаемой линии при ПУМ в конструкции объекта или вблизи от него. УЗИП, испытанное на воздействие категории С1 может быть установлено на границе ЗМЗ 2 и ЗМЗ 3.

В таблице 3 ГОСТ ИЕС 61643-21-2014 приведены минимальные требуемые значения, иные параметры импульсных токов можно найти в других стандартах, например, Рекомендациях МСЭ-Т.

Для некоторых типов УЗИП производитель может указать дополнительные данные по испытаниям с применением форм волны, выбранных из категорий А, В, С и D, а также и более высоких значений токов и напряжений, предусмотренных технической документацией на УЗИП.

Следующим важным критерием при выборе типа и модели УЗИП является определение стойкости защищаемого ИС к импульсным напряжениям, согласно ГОСТ Р 51317.4.5-99. Данный стандарт вводит требования к степени жесткости и методам испытаний технических средств (ТС), в том числе и информационных систем. Степень жесткости испытаний устанавливается в соответствии с условиями эксплуатации ТС (смотри фрагмент таблицы 1 ГОСТ Р 51317.4.5-99)

Фрагмент таблицы 1 ГОСТ Р 51317.4.5-99

Степень жесткости испытаний	Значение импульса напряжения на открытом выходе испытательного генератора (U_{oc}), кВ
1	0,5
2	1,0
3	2,0
4	4,0

Полученные данные по устойчивости портов ТС к импульсным напряжениям могут быть использованы для обеспечения координации с УЗИП, предназначенными для их защиты от более мощных воздействий, например, грозových или коммутационных.

Зная место размещения ИС в структуре объекта, по рисунку 2.2.1 и таблице 2 стандарта ИЕС 61643-22:2015 можно определить, какие категории воздействия D1, С2 или С1 ожидаются в точке установки ИС. Используя указанные производителем данные по категориям испытаний и соответствующие им параметры I_n или I_{imp} , можно выбрать необходимый в конкретных условиях тип УЗИП. Затем следует сравнить предлагаемые для данного УЗИП значения уровня защитного напряжения U_p с данными по устойчивости ИС к импульсным перенапряжениям. Если значение U_p для выбранного УЗИП ниже чем устойчивость ИС к импульсным напряжениям, то данное УЗИП будет обеспечивать координацию в своей работе с защищаемым оборудованием в пределах заданных при выборе импульсных воздействий. При отсутствии координации по импульсным токам и напряжениям необходимо применять ступенчатые схемы защиты.

На практике ступенчатые схемы защиты ИС с установкой отдельных УЗИП в каждой ЗМЗ применяются крайне редко. В большинстве случаев используются многокаскадные УЗИП, у которых первый каскад реализуется на базе газонаполненных разрядников, способных выдерживать импульсные воздействия, определяемые категорией испытаний D1. В последующих каскадах могут быть использованы варисторы и (или) супрессорные диоды, определяющие быстродействие УЗИП и его способность к координации с заявленной устойчивостью ИС к импульсным перенапряжениям. Энергетическая координация между каскадами достигается за счет согласующих резистивных или индуктивных элементов. Вся конструкция УЗИП, как правило, размещается в едином корпусе.

РАЗДЕЛ 2.4

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ УСТАНОВКИ УЗИП В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Схемотехника УЗИП для информационных систем определяется следующими основными критериями – возможностью выдерживать заданные импульсные воздействия, координацией защитного уровня напряжения с импульсной стойкостью изоляции оборудования ИС и отсутствием влияния УЗИП на цепи передачи информации и передаваемые сигналы.

При этом должны учитываться требования Зонной концепции защиты по необходимости ступенчатого понижения уровня внешнего воздействия от ввода питающей и информационной линий в объект до места размещения ИС. Так же следует учитывать некоторые особенности, связанные с правильным размещением УЗИП информационных цепей относительно защищаемого оборудования и УЗИП питающих цепей.

Обобщенный вариант совместной установки УЗИП по вводу линии питания 230 В и со стороны ввода информационной линии в комплект ИС показан на рисунке 2.4.1.

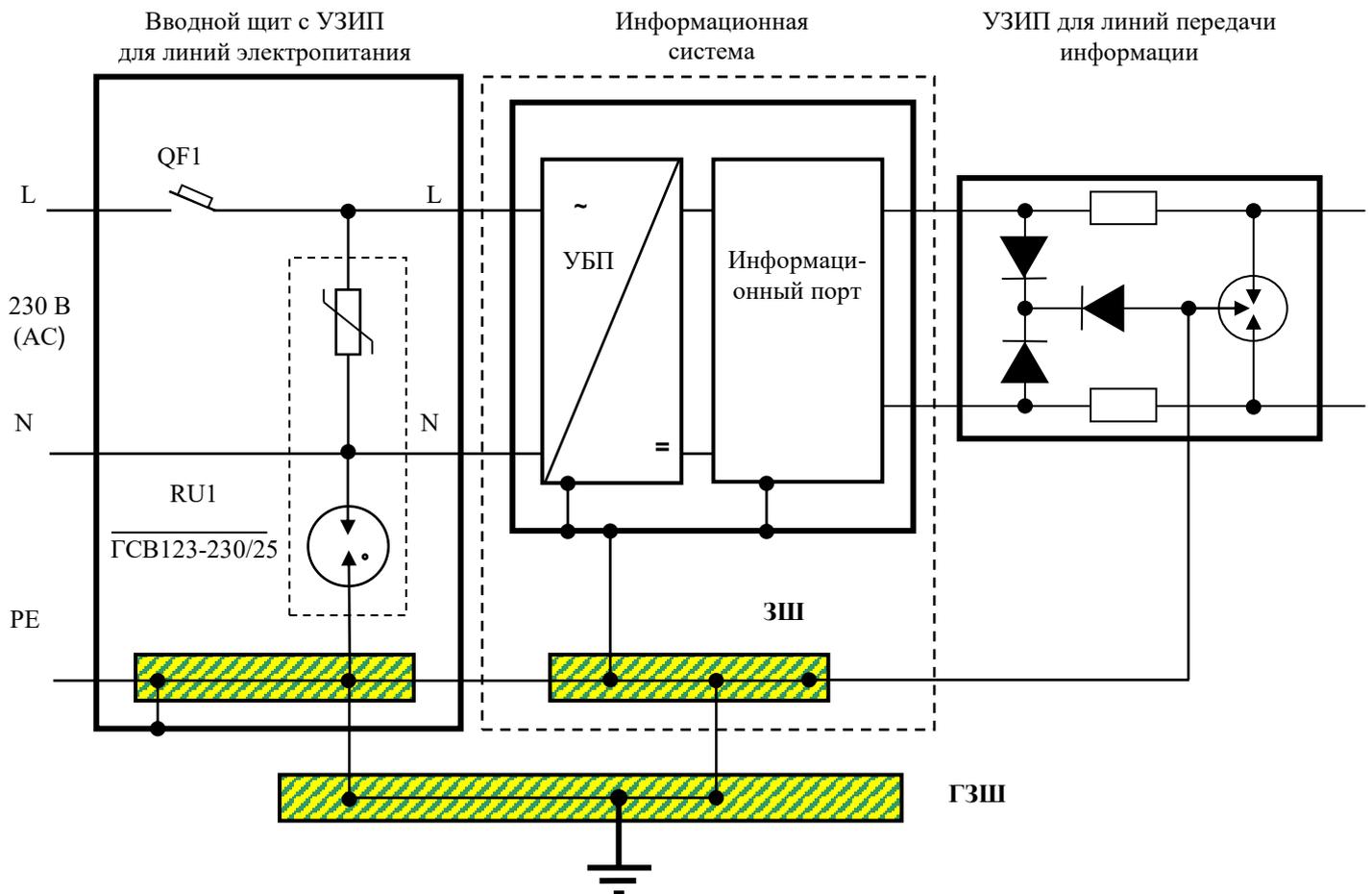


Рис. 2.4.1 Вариант схемы защиты от импульсных перенапряжений для ИС по вводу питания и вводу линии передачи информации

Для данного варианта подразумевается, что объект имеет малые габариты, и деление его на защитные зоны затруднено. Главным принципом в предлагаемом схемном решении является необходимость размещения УЗИП всех типов в непосредственной близости от портов

ИС. УЗИП по вводам питания и передачи информации находятся рядом с оборудованием и их заземляющие выводы кратчайшим путем связаны с шиной ЗШ, которая физически может являться некой клеммой или болтовым зажимом на металлическом корпусе стойки с ИС. Назначение этой шины ЗШ – создание близко расположенной эквипотенциальной точки подключения всех заземляющих проводников от ИС, УЗИП питающей и информационной цепи, с последующим присоединением через ГЗШ к общей системе уравнивания потенциалов (СУП) объекта. В данном решении будет обеспечиваться протекание импульсных токов от любого источника воздействий в обход портов, с обеспечением уравнивания потенциалов по всем направлениям ввода линий в ИС.

При этом следует обратить внимание, что наличие на объекте заземляющего устройства с низким сопротивлением растеканию импульсным токам, является крайне важным условием правильной работы УЗИП и всей системы в целом.

Основные общие требования, которые необходимо соблюдать при установке УЗИП для защиты ИС сформулированы ниже:

- многокаскадные УЗИП в цепях передачи информации следует устанавливать вблизи защищаемого оборудования ИС, на расстоянии не более 10 м по кабельной линии;
- для обеспечения нормальной работы УЗИП требуется их подключение к ЗУ объекта через подключение к ГЗШ или к шине СУП в точке ближайшей к месту установки УЗИП (рисунок 2.2.2);
- при установке УЗИП и прокладке к ним кабельных линий, проводники, подключаемые к клеммам «Линия», должны прокладываться отдельно от проводников, подключаемых к клеммам «Защищено» и уходящих к защищаемому оборудованию ИС. Запрещается их параллельная совместная прокладка для исключения индуктивных взаимосвязей и наводок. Те же требования предъявляются к проводникам заземления от УЗИП к заземляющей шине. Разрешается пересечение проводников под прямым углом;
- рекомендуется УЗИП для информационных линий размещать на вводах кабельных линий в здания и сооружения (смотри рис. 2.2.2) в специальных заземленных металлических щитках защиты от импульсных перенапряжений (ЩЗИП).

Подробные конструктивные особенности щитка ЩЗИП могут уточняться дополнительно при согласовании схем защиты. Применение ЩЗИП должно обеспечить размещение УЗИП в отдельном объеме вне корпуса оборудования передачи и обработки информации, телемеханики или КИПиА, значительно снизить наводки от входящих цепей на электронные блоки и исключить физическое повреждение оборудования при возможном разрушении УЗИП при критических воздействиях импульсных токов и перенапряжений.

В состав щитка ЩЗИП могут входить УЗИП, зажимы, шины, проводники, устройства мониторинга УЗИП. Клеммные колодки щитка ЩЗИП предусматривают подключение внешних цепей с сигналами 4...20 мА, -24 В, -110 В -220 В, цепей с интерфейсными сигналами RS 232, RS 422, RS 485, линий передачи данных 5 и 6 категории или линий связи. В щитке предусмотрена шина РЕ для подключения заземляющих проводников от всех УЗИП. Щиток представляет собой оборудование максимальной заводской готовности обеспечивающее отдельную прокладку проводников, маркировку зажимов для исключения ошибок подключения.

Для УЗИП расположенных на границе ЗМЗ1 использование щитка ЩЗИП наиболее актуально в связи со значительными воздействиями токов при ПУМ в данном месте установки УЗИП.

Примеры типовых решения по применению щитков ЩЗИП для защиты оборудования АСУ ТП рассмотрены на рисунке 2.4.2

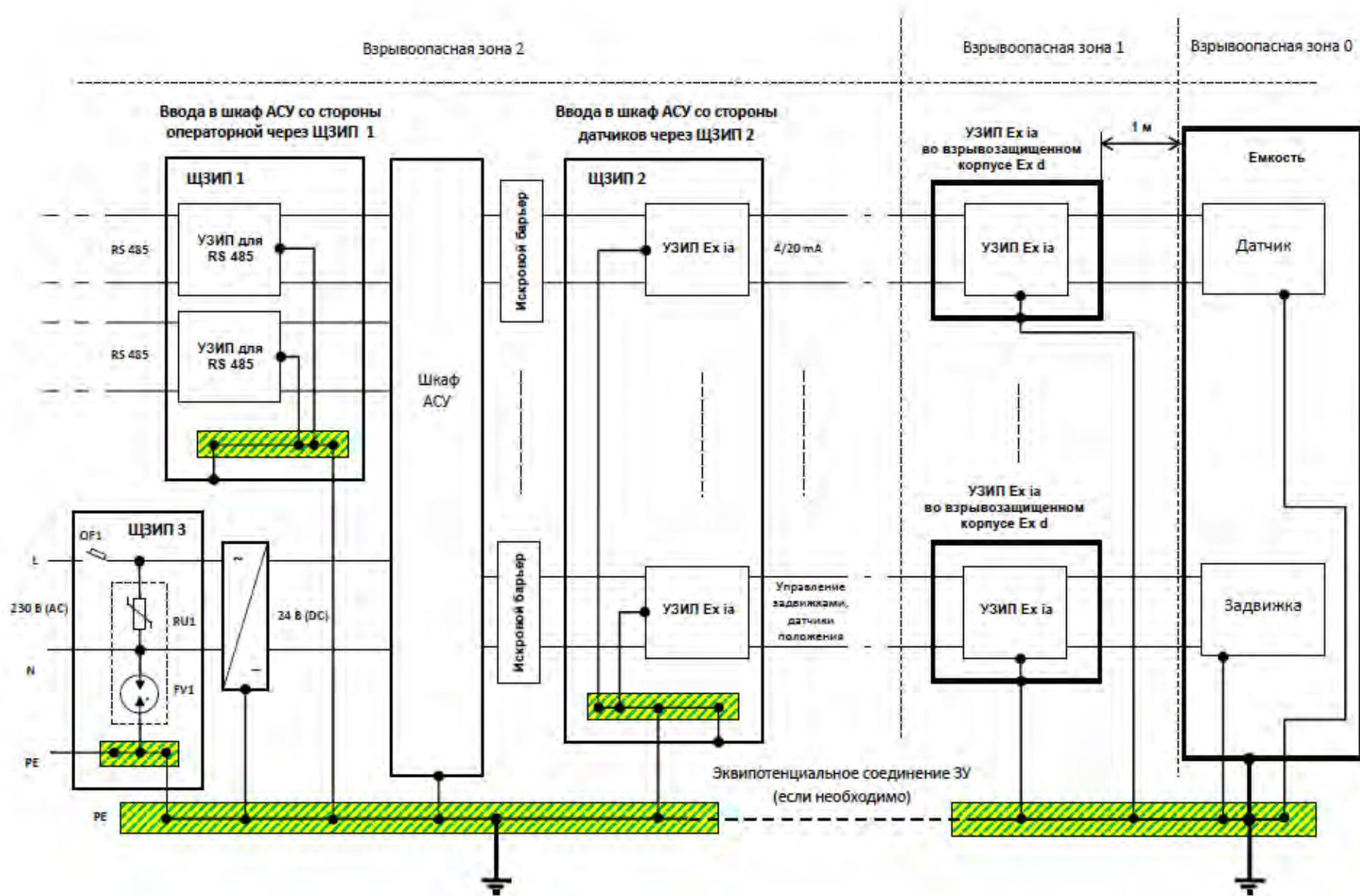


Рис. 2.4.2 Пример выполнения защиты от перенапряжений комплекса АСУ объекта, имеющего взрывоопасные зоны

Литература:

- IEC 62305-2010 «Protection against lightning» Части 1-4.
- IEC 61643-12:2008 «Low-voltage surge protective devices - Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Selection and application principles».
- IEC 61643-22:2015 «Low-voltage surge protective devices - Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Selection and application principles».
- ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы».
- ГОСТ Р МЭК 62305-2-2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 2. Оценка риска».
- ГОСТ Р 51992-2011 «Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 1. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Технические требования и методы испытаний».
- ГОСТ IEC 61643-11-2013 «Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 11. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к низковольтным системам распределения электроэнергии. Требования и методы испытаний».
- 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».
- ГОСТ IEC 61643-21-2014 «Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 21. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к телекоммуникационным и сигнализационным сетям. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний».
- ГОСТ Р 50571.4-44-2011 «Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех».
- 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».
- ГОСТ Р 50571.22-2000 «Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 707. Заземление оборудования обработки информации».
- ГОСТ Р 50571.5.53-2013/МЭК 60364-5-53:2002 «Электроустановки низковольтные. Часть 5-53. Выбор и монтаж электрооборудования».
- СО–153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций».
- РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений».
- Европейский Телекоммуникационный Стандарт ETSI EN 300253 V2.1.0 (2001-12). «Инжиниринг оборудования. Заземление и выравнивание потенциалов оборудования на объектах связи».
- Рекомендация ИТУ-Т К.12:2010 «Характеристики газонаполненных разрядников для защиты установок электросвязи».
- Рекомендация ИТУ-Т К.20:2011 «Устойчивость телекоммуникационного оборудования, установленного в телекоммуникационном центре, к перенапряжениям и сверхтокам».
- Рекомендация ИТУ-Т К.21:2011 «Устойчивость телекоммуникационного оборудования, установленного в помещениях заказчика, к перенапряжениям и сверхтокам».
- Рекомендация ИТУ-Т К.27:1996 «Конфигурации соединения и заземление внутри сооружений электросвязи».

- Рекомендация ИТУ-Т К.35:1996 «Конфигурация соединений и заземление в удаленных пунктах электронного оборудования».
- Рекомендация ИТУ-Т К.45:2011 «Устойчивость оборудования электросвязи, установленного в сетях доступа и магистральных сетях, к воздействию перенапряжений и сверхтоков».
- Рекомендация ИТУ-Т К.65:2011 «Требования к перенапряжению и превышению тока для оконечных модулей с контактами для тест-портов или для устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП)».
- РД 45.155-2000. «Заземление и выравнивание потенциалов аппаратуры ВОЛП на объектах проводной связи».