

Раздел J

Защита от перенапряжений

Содержание

1	Общие положения	J2
	1.1 Что такое перенапряжение?	J2
	1.2 Четыре типа перенапряжений	J2
	1.3 Основные характеристики перенапряжений	J4
	1.4 Различные режимы распространения	J5
2	Устройства защиты от перенапряжений	J6
	2.1 Устройства первичной защиты (молниезащита: IEPF)	J6
	2.2 Устройства вторичной защиты (молниезащита внутреннего оборудования IEPF)	J8
3	Стандарты	J11
	3.1 Описание устройств для защиты от перенапряжения	J11
	3.2 Стандарты	J11
	3.3 Данные по устройствам для защиты от перенапряжения по стандарту IEC 61643-1	J11
	3.4 Нормы монтажа устройств для защиты от перенапряжений	J13
4	Выбор устройств защиты	J14
	4.1 Оценка риска перенапряжения для защищаемого объекта	J14
	4.2 Выбор пропускной способности устройств для защиты от перенапряжений (низковольтная сеть)	J16
	4.3 Выбор устройства для защиты от перенапряжений в зависимости от схемы заземления (см. рис. J23)	J16
	4.4 Выбор выключателя	J17

J1

1 Общие положения

1.1 Что такое перенапряжение?

Перенапряжение - это импульс или волна напряжения с наложением на номинальное сетевое напряжение (см. рис. J1).

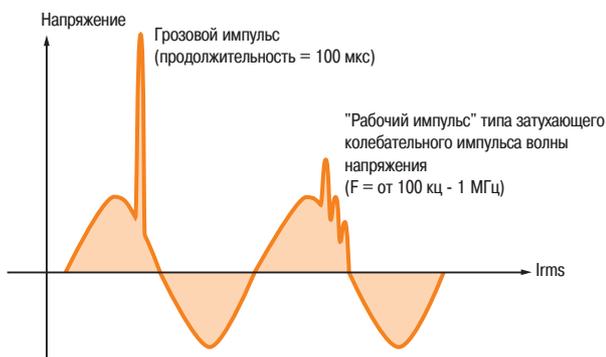


Рис. J1: Примеры перенапряжений

Этот тип перенапряжений характеризуется следующими параметрами (см. рис. J2):

- время нарастания (t_f) в мксек;
- скорость нарастания в кВ/мксек.

Эти два параметра нарушают работу оборудования и вызывают электромагнитное излучение. Более того, продолжительность перенапряжения (T) вызывает всплеск энергии в электрических цепях, который может повредить оборудование.



Рис. J2: Основные характеристики перенапряжения

1.2 Четыре типа перенапряжений

Существуют четыре типа перенапряжений, которые могут нарушать работу электроустановок и оборудования (потребителей):

- атмосферные перенапряжения
- рабочие перенапряжения
- переходные перенапряжения промышленной частоты
- перенапряжения, вызванные электростатическим разрядом

Атмосферные перенапряжения

Риск молний - некоторые сведения

От 2000 до 5000 гроз образуется постоянно в атмосфере земли. Грозы сопровождаются разрядами молнии, которые представляют серьезную угрозу для людей и оборудования. Разряды молнии в атмосфере земли происходят с частотой 30-100 разрядов в секунду. Ежегодно земля испытывает около 3 миллиардов ударов молнии.

- Каждый год во всем мире тысячи людей подвергаются ударам молнии, при этом погибает огромное число животных.
- Кроме того, молния является причиной многочисленных пожаров, большинство из которых возникает на фермах (с уничтожением сооружений или их выходом из строя)
- Молния поражает трансформаторы, счетчики электроэнергии, бытовые электроприборы и электрические и электронные системы в жилом секторе и промышленности.
- Высотные здания одни из самых поражаемых молнией сооружений
- Стоимость устранения ущерба, наносимого молнией, крайне велика
- Трудно оценить последствия нарушений работы компьютерных или телекоммуникационных сетей, сбоев циклов PLC и отказов в системах управления.

Более того, потери из-за выхода машин из строя могут иметь финансовые последствия, выходящие за пределы стоимости оборудования, разрушенного молнией.

Характеристики разряда молнии

Рис. J3 содержит данные комитета по молниезащите (технический комитет 81 (I.E.C.)). Согласно этим данным 50% разрядов молнии имеют силу свыше 33 кА, а 5% - свыше 85 кА. Энергия разрядов крайне высока.

Вероятность - выше макс. P%	Макс. тока I (кА)	Скорость нарастания S (кА/мкс)	Общая продолжит. T (с)	Число разрядов, n
95	7	9.1	0.001	1
50	33	24	0.01	2
5	85	65	1.1	6

Рис. J3: Значения разряда молнии согласно данным комитета по молниезащите

Важно определить вероятность адекватной защиты объекта. Более того, ток молнии является импульсным током высокой частоты (ВЧ) порядка мегагерц.

Воздействие молнии

Ток молнии является электрическим током высокой частоты. Кроме значительных наводок и перенапряжения, он оказывает такое же воздействие на проводник, как любой другой ток низкой частоты:

- Тепловой эффект: расплавление в точках воздействия молнии и тепловое действие тока приводят к пожарам
- Электродинамический эффект: при циркуляции токов молнии в параллельных проводниках они вызывают силы притяжения или отталкивания между проводами, приводя к разрывам или механическим деформациям (раздавливание или сплющивание проводов)
- Эффект взрыва: молния может приводить к расширению воздуха и образованию зоны избыточного давления, расширяющейся на расстояние десятки метров. Ударная волна разрушает окна или перегородки и может отбрасывать животных или людей на несколько метров. Вместе с тем, ударная волна преобразуется в звуковую волну: гром.
- Перенапряжения в проводниках после воздействия молнии на воздушные электрические или телефонные линии
- Перенапряжения, индуцированные электромагнитным излучением канала молнии, который действует как антенна в радиусе нескольких километров при прохождении по каналу сильного импульсного тока
- Повышение потенциала земли из-за циркуляции тока молнии в грунте. Это объясняет неяркие разряды молнии из-за образующегося шагового напряжения и связанные с этим повреждения оборудования

Рабочие перенапряжения

Внезапное изменение установившегося режима работы электрической сети приводит к переходным процессам. Как правило, это волны перенапряжения высокой частоты или затухающих колебаний (см. рис. 13, с. J11). Считается, что это волны с малой скоростью нарастания: их частота изменяется от нескольких десятков до нескольких сотен килогерц.

Причины рабочих перенапряжений:

- Отключения устройствами защиты (плавкий предохранитель, выключатель) и отключения или включения аппаратуры управления (реле, контактор и т.д.)
- Перенапряжения от индуктивных цепей из-за пуска или останова двигателей или отключения понижающих трансформаторов подстанций
- Перенапряжения от емкостных цепей при подсоединения блоков конденсаторов к сети
- Все устройства, имеющие в своем составе катушку, конденсатор или трансформатор на входе питания: реле, контакторы, телевизоры, принтеры, компьютеры, электроды, фильтры и т.д.

Молнии происходят от разряда электрических зарядов, накопленных в кучево-дождевых облаках, которые образуют конденсатор с землей. Грозовые явления наносят значительный ущерб.

Молния - высокочастотное электрическое явление, вызывающее перенапряжения на всех проводящих элементах, особенно на нагрузках и проводах.

Переходные перенапряжения промышленной частоты (см. рис. J4)

Такие перенапряжения имеют такие же частоты, как сеть (50, 60 или 400 Гц):

- Перенапряжения из-за повреждения изоляции фаза/каркас или фаза/земля в сети с заземленной непосредственно или через сопротивление нейтрально или из-за разрыва нейтрального проводника. При этом однофазные устройства получают напряжение 400В.
- Перенапряжения из-за пробоя кабеля. Например, при падении кабеля среднего напряжения на низковольтную линию.
- Образование дуги защитного искрового разрядника высокого или среднего напряжения вызывает повышение потенциала земли во время действия устройств защиты. Такие устройства защиты работают в соответствии с автоматическими циклами коммутации, которые будут воссоздавать повреждение при его устойчивом сохранении.



Рис. J4: Переходное перенапряжение промышленной частоты

Перенапряжения из-за электрического разряда

В сухой среде электрические заряды накапливаются и создают очень сильное электростатическое поле. Например, человек, идущий по ковру в изолирующей обуви, становится электрически заряженным до напряжения нескольких киловольт. Если человек проходит около проводящей конструкции, возникает электрический разряд в несколько ампер с очень коротким временем нарастания (несколько наносекунд). Если конструкция включает чувствительное электронное устройство, например, компьютер, его компоненты или монтажные платы могут быть повреждены.

1.3 Основные характеристики перенапряжений

Рис. J5 ниже показывает сводные основные характеристики перенапряжений.

Тип перенапряжения	Коэффициент перенапряжения	Продолжительность	Скорость нарастания переднего фронта волны
Промышленная частота (повреждение изоляции)	1.7	Длительное 30 - 1,000 мс	Промышлен. частота (50-60-400 Гц)
Рабочее	2 - 4	Кратковременное 1 - 100 мс	Средняя 1 - 200 кГц
Атмосферное	> 4	Очень кратковремен. 1 - 100 мкс	Очень высокая 1 - 1,000 кВ/мкс

Рис. J5: Основные характеристики перенапряжений

Необходимо учитывать три фактора:

- Прямой или не прямой удар молнии может иметь разрушительные последствия для электросистем в радиусе нескольких километров
- Производственные или рабочие перенапряжения наносят значительный ущерб
- Подземное размещение оборудования никоим образом не защищает его от поражения, хотя и ограничивает риск прямого поражения

1 Общие положения

1.4 Различные режимы распространения

Обычный режим

Перенапряжения в обычном режиме возникают между деталями под напряжением и землей: фаза/земля или нейтраль/земля (см. J6).

Они особенно опасны для устройств конструкции которые заземлены в силу риска пробоя диэлектрика.

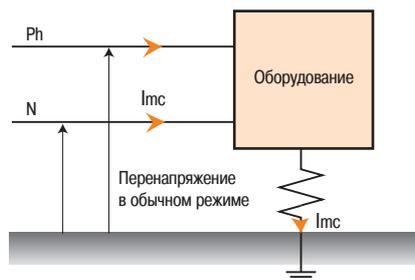


Рис. J6: Обычный режим

Дифференциальный режим

Перенапряжения в дифференциальном режиме циркулируют между проводниками фаза/фаза или фаза/земля под напряжением (рис. J7). Они особенно опасны для электронного оборудования, чувствительного компьютерного оборудования и т.д.

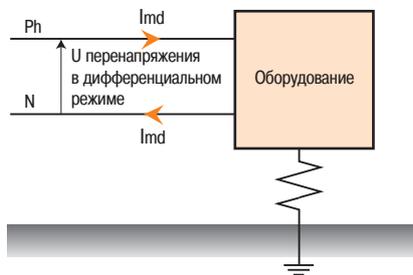


Рис. J7: Дифференциальный режим

2 Устройства защиты от перенапряжений

Два основных типа устройств защиты применяются для гашения или ограничения перенапряжений: устройства первичной и вторичной защиты.

2.1 Устройства первичной защиты (молниезащита: IEPF)

Назначение устройств первичной защиты состоит в защите от прямых ударов молнии. Они улавливают и отводят ток молнии на землю. Принцип работы основан на защитной зоне, определяемой конструкцией, расположенной выше всех остальных конструкций.

Этот принцип применяется к любому пик-эффекту (мачтовое сооружение, здание или очень высокая металлическая конструкция).

Существуют три типа первичной защиты:

- Стержневые молниеотводы, самые старые и известные устройства молниезащиты
- Тросовые молниеотводы
- Сетка или клетка Фарадея

Стержневой молниеотвод

Молниеотвод представляет собой конусообразный стержень, расположенный наверху здания. Он заземляется одним или несколькими проводниками-токоотводами (часто это медные шинки) (см. рис. J8).

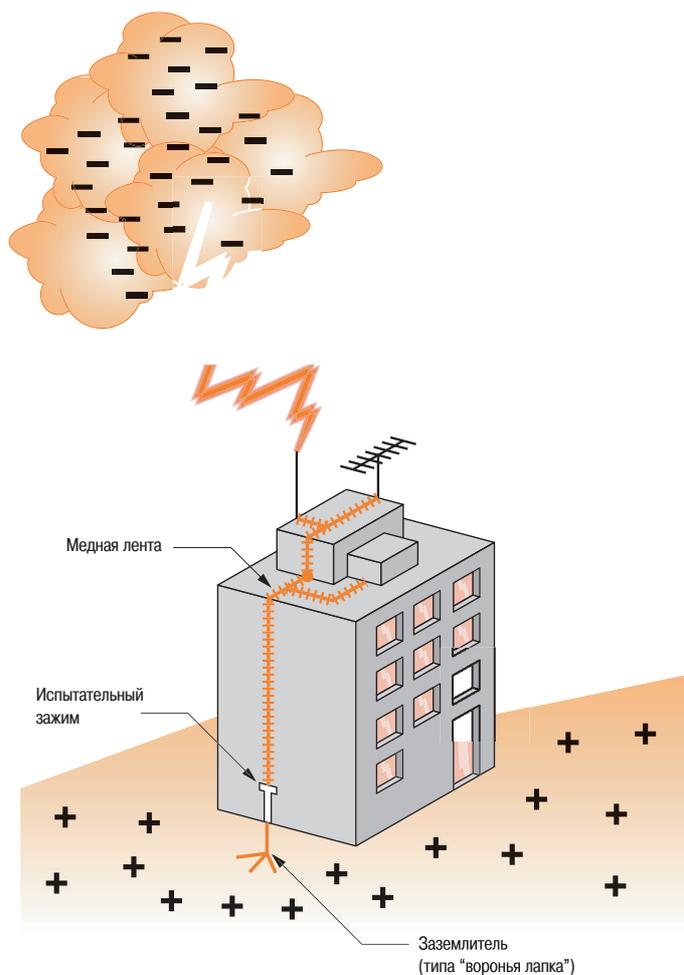


Рис. J8: Пример защиты IEPF с помощью молниеотвода

2 Устройства защиты от перенапряжений

Разработка и монтаж молниеотвода - это задача, которой должны заниматься специалисты.

При этом необходимо обеспечить соответствующее расположение проводников-токоотвода (медных шин), испытательных зажимов и заземляющих электродов для отвода высокочастотных токов молнии на землю, а также расстояния их относительно систем электропроводки, газо-, водоснабжение и т.д.

Кроме того, отвод тока молнии на землю индуцирует перенапряжения (из-за электромагнитного излучения) в защищаемых электрических цепях и сооружениях. Такие перенапряжения могут достигать нескольких десятков киловольт. Поэтому, необходимо симметрично развести токи вниз по двум, четырем или более проводникам токоотвода для минимизации электромагнитных эффектов.

Тросовый молниеотвод

Трос натягивается над защищаемым сооружением (см. рис. J9). Этот метод применяется для специальных сооружений: площадки для запуска ракет, оборонные объекты и молниезащитные (грозозащитные) тросы для воздушных высоковольтных линий электропередачи (см. рис. J10).

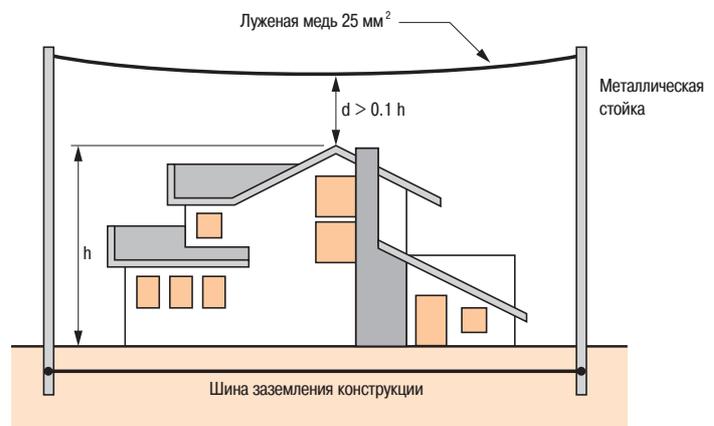


Рис. J9: Пример защиты IEPF с помощью тросовых молниеотводов

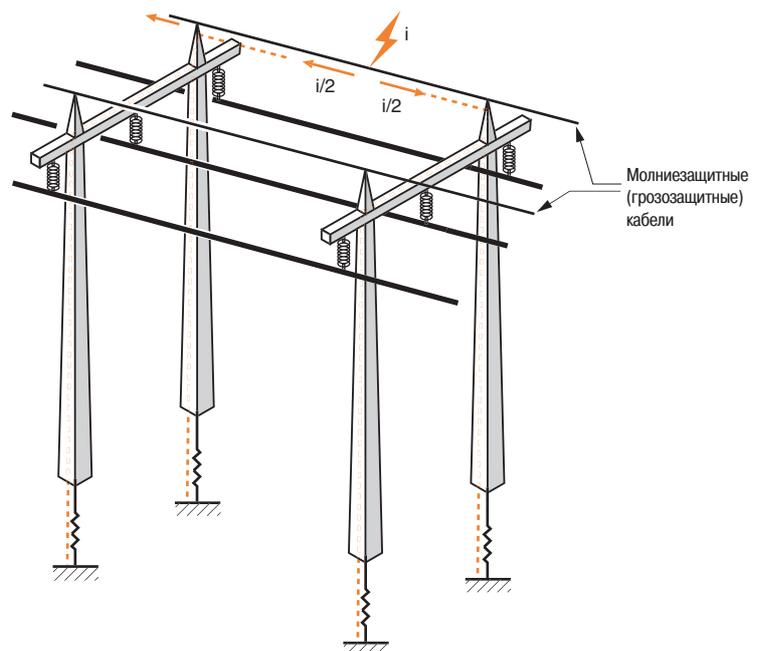


Рис. J10: Молниезащитные (грозозащитные) кабели

Устройства первичной защиты (IEPF), такие как сетка или тросовый молниеотвод, применяются для защиты от прямых ударов молнии. Такие устройства не предотвращают разрушительное вторичное воздействие на оборудование. Например, от повышений потенциала земли и электромагнитной индукции из-за прохождения токов на землю. Для ограничения вторичных эффектов необходимо дополнительно использовать низковольтные разрядники в телефонных и электрических сетях.

Сетка (клетка Фарадея)

Этот принцип применяется для защиты зданий, в которых размещается компьютерное оборудование или оборудование для производства интегральных схем (микрочипов). Он заключается в разветвлении ряда вертикальных токоотводов снаружи здания. Горизонтальные связи (обвязки) добавляются в случае высотных зданий; например, через каждые два этажа (см. рис. J11). Вертикальные токоотводы заземляются заземлителем (заземляющим устройством) типа "воронья лапка". В результате получается сетка с ячейками 10 x 15 м или 10 x 10 м. Это позволяет оптимизировать эквипотенциальное соединение здания и развести токи молнии, что значительно снижает электромагнитные поля и индукцию.

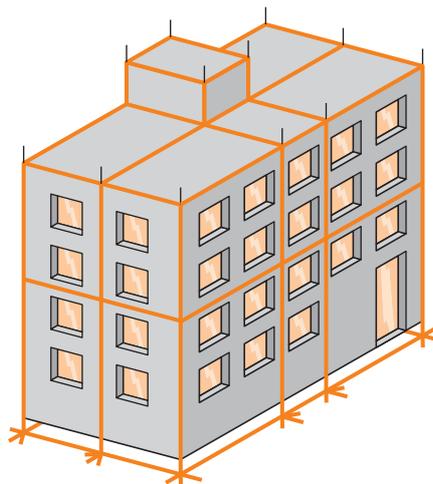


Рис. J11: Пример защиты IEPF по принципу сетки (клетки Фарадея)

2.2 Вторичные устройства защиты (молниезащита внутреннего оборудования IEPF)

Это устройства защиты от атмосферных и рабочих перенапряжений или перенапряжений промышленной частоты. Они могут классифицироваться по способу их присоединения в установке: последовательное или параллельное.

Устройство последовательной защиты

Это устройство с последовательным подсоединением к питающим проводам защищаемой системы (см. рис. J12).

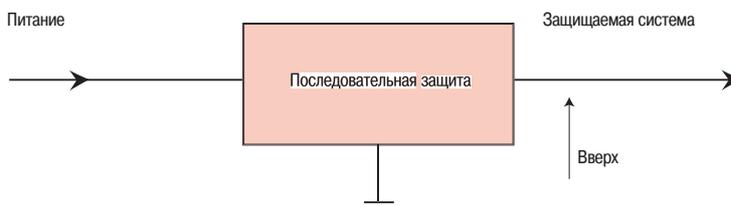


Рис. J12: Принцип последовательной защиты

Трансформаторы

Ограничивают перенапряжения за счет индуктивного эффекта и устраняют определенные гармоники за счет соответствующего соединения первичной и вторичной обмоток. Данная защита не очень эффективна.

Фильтры

Основанные на таких компонентах, как сопротивления, катушки индуктивности и конденсаторы, служат для ограничения перенапряжений из-за нарушений режимов работы в четко заданном диапазоне частот. Такие устройства не предназначены для ограничения атмосферных перенапряжений.

2 Устройства защиты от перенапряжений

Ограничители перенапряжений

Состоят главным образом из воздушных (без сердечников) катушек индуктивности, ограничивающих перенапряжения, и разрядников, отводящих токи. Наиболее подходят для защиты чувствительного электронного и компьютерного оборудования, но защищают только от перенапряжений. К сожалению, это громоздкие и дорогостоящие устройства.

Сетевые кондиционеры и статические источники бесперебойного питания (UPS)

Эти устройства применяются главным образом для защиты чувствительного оборудования, такого как компьютерное оборудование, требующее электропитания высокого качества. Они могут использоваться для регулирования напряжения и частоты, подавления помех и обеспечения бесперебойного питания даже в случае отключения сетевого питания (UPS). С другой стороны, они не защищены от больших атмосферных перенапряжений и требуют использования разрядников.

Устройство параллельной защиты

Принцип

Устройство параллельной защиты может использоваться в установках любой мощности (см. J13).

Это наиболее широко применяемый тип устройств защиты от перенапряжений.

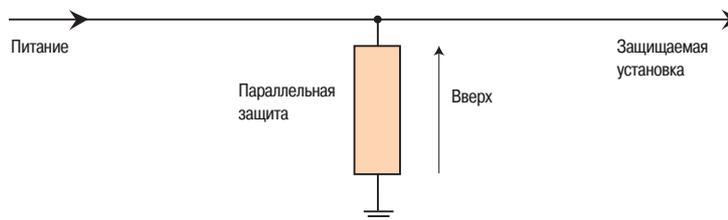


Рис. J13: Принцип параллельной защиты

Основные характеристики

- Номинальное напряжение устройства защиты должно соответствовать сетевому напряжению на вводах установки.
- При отсутствии перенапряжения ток утечки не должен протекать через устройство защиты в режиме «ожидания»
- При перенапряжении выше допустимого порогового значения для защищаемой установки устройство защиты должно быстро отводить ток, вызванный перенапряжением на землю, ограничивая напряжение необходимым верхним уровнем защиты (рис. J14).

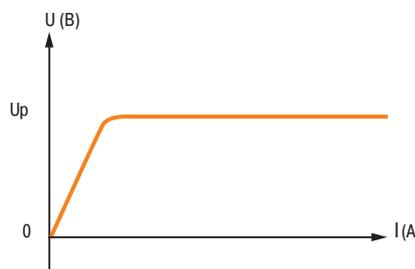


Рис. J14: Типовая вольт-амперная характеристика идеального устройства защиты

После устранения перенапряжения устройство защиты прекращает проводить ток и возвращается в ждущий режим без удержания тока. Ниже описывается идеальная вольт-амперная характеристика:

- Время реакции устройства защиты (t_r) должно быть как можно более коротким для быстрой защиты объекта
- Устройство защиты должно быть способно проводить энергию, вызванную предсказанным перенапряжением на защищаемом объекте
- Устройство защиты от перенапряжений должно быть рассчитано на входной номинальный ток I_n .

2 Устройства защиты от перенапряжений

Применяемые устройства

■ Ограничители напряжения

Применяются на понижающих подстанциях (среднего/низкого) напряжения (MV/LV) на выходах трансформаторов при системе заземления IT. Поскольку используются только в схемах с изолированной или заземленной через сопротивление нейтралью, они могут отводить перенапряжения на землю, особенно перенапряжения промышленной частоты (см. рис. J15).

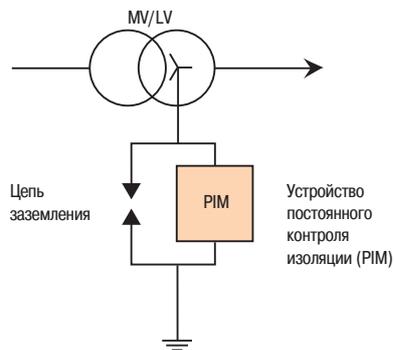


Рис. J15: Ограничитель перенапряжений

■ Низковольтные ограничители перенапряжений

Этот термин обозначает различные устройства (по технологии и назначению). Низковольтные ограничители перенапряжений представляют собой блоки, устанавливаемые внутри низковольтного распределительного щита. Существуют также сменные ограничители перенапряжений и ограничители перенапряжений для защиты отходящих фидеров. Они обеспечивают защиту соседних элементов, но имеют низкую пропускную способность. Некоторые встраиваются в различные устройства потребляющие электроэнергию, хотя не могут защитить от больших перенапряжений.

■ Слаботочные разрядники или устройства защиты от перенапряжений

Защищают телефонные или коммутационные сети от перенапряжений из-за внешних (молния) и внутренних причин (помехи, вызываемые работой другого оборудования, коммутация распределительных устройств и т.д.)

Слаботочные ограничители перенапряжений также устанавливаются в распределительных щитах или встраиваются в различные устройства потребляющие электроэнергию.

3.1 Описание устройств для защиты от перенапряжения (ограничителей перенапряжений - ОПН)

Ограничитель - это устройство, которое ограничивает амплитуды перенапряжений в переходных режимах до величины безопасной для электроустановки и оборудования и отводит в землю токи, вызываемые перенапряжениями.

Ограничитель имеет несколько нелинейных компонентов, т.е., включает варисторы.

Ограничитель устраняет перенапряжения:

- В обычном режиме: между фазой и землей или между нейтралью и землей
- В дифференциальном режиме: между фазами или между фазой и нейтралью

При перенапряжении свыше порогового значения U_c ОПН в обычном режиме отводит энергию на землю. При дифференциальном режиме отводимая энергия направляется к другому активному проводнику.

Ограничитель имеет внутреннее устройство тепловой защиты, которое защищает его от перегорания в конце срока службы. Постепенно, при нормальном использовании после выдерживания нескольких перенапряжений ограничитель становится просто проводящим устройством. Индикатор информирует пользователя о выработке его ресурса.

Рекотрые ОПН обеспечиваются дистанционной сигнализацией их состояния.

Защита от коротких замыканий обеспечивается внешним выключателем.

3.2 Стандарты

Международный стандарт IEC 61643-11

Устройство защиты от перенапряжения, подсоединенное к низковольтной распределительной сети.

Последний стандарт (март 1998 г.) основан на 3 стандартах VDE 0675, NF C 61740/95 и UL1449 и определяет три класса испытаний:

- Испытания класса I: проводятся с использованием номинального тока разряда (I_n), выдерживаемого импульсного напряжения (1.2/50 мксек) и тока импульса (I_{imp}).
- Испытания класса II: проводятся с использованием номинального тока разряда (I_n), выдерживаемого импульсного напряжения (1.2/50 мксек) и полного тока импульса (I_{max}).
- Испытания класса III: проводятся с использованием комбинированной формы волны (1.2/50; 8/20).

Эти 3 класса испытаний не могут сравниваться, так как зависят от страны и местных установленных требований. Более того, каждый изготовитель может ссылаться на один из 3 классов испытаний.

3.3 Данные по ОПН по стандарту IEC 61643-11

- **Классы испытаний:** классификация испытаний ОПН для защиты от перенапряжения.
- **I_n :** Номинальный ток разряда - максимальное значение тока при форме волны 8/20 мкс, который протекает через ОПН. Используется для классификации ОПН по испытаниям класса II и в качестве предварительного требования к ОПН для испытаний класса I и II.
- **I_{max} :** Полный ток разряда для испытаний класса II. Это максимальное значение тока при форме волны 8/20 мкс, который протекает через ОПН, при величине, соответствующей рабочей последовательности испытаний класса II. Значение I_{max} выше значения I_n .
- **I_c :** Постоянный рабочий ток. Это ток, протекающий в ОПН при его постоянном полном выдерживаемом рабочем напряжении (U_c) в каждом режиме. I_c соответствует сумме токов, протекающих в элементе защиты разрядника и всех внутренних цепях, подсоединенных параллельно с ним.
- **I_{imp} :** Импульсный ток, определяемый с помощью максимального тока (I_{peak}) и заряд Q . Испытание проводится в соответствии с рабочей последовательностью. Применяется для классификации разрядников по испытаниям класса I.
- **U_n :** Номинальное сетевое напряжение. Это опорное напряжение сети, например: 230/400В для трехфазной сети.
Принято использовать напряжение между фазой и нейтралью (U_o).
Значение U_o необходимо для выбора значения U_c .
- **U_c :** Постоянное рабочее полное выдерживаемое напряжение. Это максимальное среднеквадратичное значение или значение установившегося напряжения, которое может прилагаться к устройству в режиме защиты. Равно номинальному напряжению.

■ **U_p**: Напряжение срабатывания устройств защиты от перенапряжения. Это параметр, характеризующий работу устройства защиты (ОПН) по ограничению напряжения между его клеммами. Это значение выбирается из перечня рекомендуемых значений.

Это значение должно быть выше максимального значения, получаемого при измерении напряжения ограничения.

Общепринятые значения для сети 230/400В:

1 кВ - 1,2 кВ - 1,5 кВ - 1,8 кВ - 2 кВ - 2,5 кВ

■ **U_{res}**: Остаточное напряжение. Это максимальное напряжение на зажимах ОПН при протекании тока разряда.

ОПН характеризуется значениями U_c, U_p, I_n и I_{max} (см. Рис. J16).

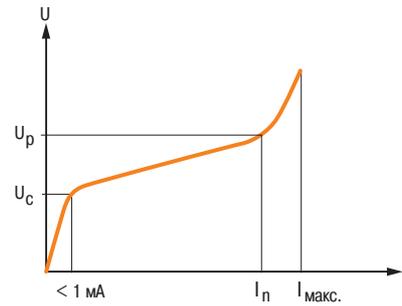


Рис. J16: Вольтамперная характеристика

■ В каждой стране для испытания ОПН имеются сертификационные организации.

□ Волна напряжения

Например, 1.2/50 мкс (см. Рис. J17)

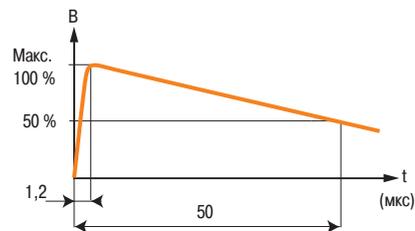


Рис. J17: Волна 1.2/50 мкс

□ Волна тока

Например, 1.2/50 мкс (см. J18)

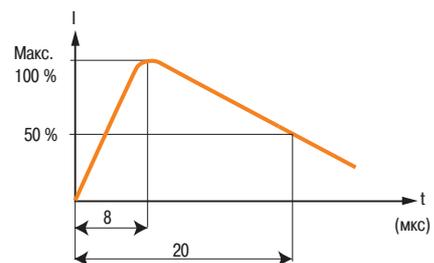


Рис. J18: Волна 1.2/50 мкс

□ Другие формы волны

4/10 мкс, 10/1000 мкс, 30/60 мкс, 10/350 мкс

Это важный параметр для испытаний разрядников, проводимых с использованием одинаковой формы волны для обеспечения сравнимости результатов.

3.4 Стандарты IEC (МЭК), относящиеся к монтажу устройств защиты от перенапряжений

■ Международный стандарт: IEC 61643-12 - принципы выбора и применения в процессе подготовки

■ Международный стандарт: IEC 60364 - электроустановки зданий

□ IEC 60364-4-443: защиты для гарантии безопасности

Если установка питается по ВЛ или включает в свой состав ВЛ, необходимо предусмотреть устройство защиты от перенапряжений при уровне N_k объекта, соответствующем режиму внешних воздействий

AQ 1 (более чем 25 грозových дней в году) ($>N_k=25 N_g=N_k/20=1,25$).

□ IEC 60364-4-443-4: выбор электрооборудования установки.

Этот раздел помогает выбрать уровень защиты U_r для ОПН в зависимости от защищаемого оборудования.

Номинальное остаточное напряжение для устройств защиты должно быть не выше значения выдерживаемого импульса напряжения класса II (см. Рис. J19):

Номинальное напряжение установки ⁽¹⁾ , В		Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, рекомендуемое для кВ			
Трёхфазные сети ⁽²⁾	Сети однофазные со средней точкой	Оборудование источника питания (выдерживаемое импульсное напряжение класса IV)	Оборудование распределительных и конечных цепей (выдерживаемое импульсное напряжение класса III)	Устройства-потребители (выдерживаемое импульсное напряжение класса II)	Специально защищаемое оборудование (выдерживаемое импульсное напряжение класса I)
	120-240	4	2,5	1,5	0,8
230/440 ⁽²⁾	-	6	4	2,5	1,5
277/480 ⁽²⁾	-	6	4	2,5	1,5
400/690	-	8	6	4	2,5
1,000	-	Значения, рекомендованные для инженеров-системотехников			

Рис. J19: Выбор электрооборудования по стандарту IEC 60364

□ IEC 60364-5-534: выбор и применение электрооборудования

Этот раздел описывает условия монтажа ограничителя перенапряжений (ОПН):

- **В зависимости от системы заземления:** постоянное рабочее полное выдерживаемое напряжение U_c для ограничителя перенапряжений (ОПН) не должно быть ниже максимального фактического рабочего напряжения на его зажимах.

Система TT: если ОПН на стороне нагрузки УЗО, значение U_c должно быть, по крайней мере, равно $1,5 U_o$ (U_o - напряжение фаза-нейтраль).

Система TN и TT: если ОПН на стороне питания УЗО, значение U_c должно быть, по крайней мере, равно $1,1 U_o$.

В случае системы IT, значение U_c должно быть, по крайней мере, равно линейному напряжению U .

В больших (разветвленных) системах IT могут потребоваться повышенные значения U_c .

- **В зависимости от местоположения:** если ОПН устанавливается на источнике питания электрооборудования через общую распределительную сеть, его номинальный ток разрядки может быть ниже 5 кА.

Если ОПН устанавливается за устройством защиты от замыкания на землю (УЗГ селективного типа), он должен выдерживать импульсные токи не менее 3 кА (8/20 мс).

- **В зависимости от использования молниеотводов:** при наличии молниеотводов должны применяться дополнительные требования к ОПН (см. IEC 81024-1 и IEC 61312-1).

(1) Как в стандарте IEC 60038

(2) В Канаде и США, при напряжениях выше 300В относительно земли, используется напряжение, указанное в строке выше.

Класс I предназначен для разработчиков/изготовителей специального оборудования.

Класс II предназначен для комитетов по изделиям для подключения электрооборудования к источникам питания.

Класс III предназначен для комиссий по монтажным материалам и некоторым специальным комиссиям.

Класс IV предназначен для поставщиков электроэнергии и инженеров-системотехников.

4 Выбор устройств защиты

4.1 Оценка риска перенапряжения для защищаемого объекта

Для определения типа защиты от перенапряжения, требуемого для электроустановки, рекомендуется следующий метод оценки риска.

Этот метод учитывает критерии, характеризующие район расположения объекта, с одной стороны, и характеристики нагрузок защищаемой электроустановки, с другой стороны.

Общий принцип

Следующие элементы, подлежат учету при оценке рисков:

- Риск поражения площадки, на которой расположен объект молнией
- Тип распределительной или телефонной сети
- Топография площадки
- Наличие молниеотвода
- Тип защищаемого оборудования
- Рабочие перенапряжения

Две оценки могут быть установлены с помощью этих элементов: оценка защищаемого оборудования и оценка защищаемого объекта.

Оценка защищаемого оборудования

Применяется следующая формула:

$$R = S + C + I \text{ (см. Рис. J20)}$$

Где:

R: риск перенапряжений на оборудовании

S: чувствительность оборудования

C: стоимость оборудования

I: неготовность оборудования и последствия

■ Чувствительность оборудования

Зависит от выдерживаемого импульсного напряжения защищаемого оборудования(Ui):

S = 1	S = 2	S = 3
Высокое выдерживаемое импульсное напряжение (4 кВ)	Нормальное выдерживаемое импульсное напряжение (2,5 кВ)	Низкое выдерживаемое импульсное напряжение (1,5 кВ)
Распределительные щиты, точки отбора питания (электророзетки), двигатели, трансформаторы...	Все бытовые электроприборы, посудомоечные машины, холодильники, печи, переносные электроинструменты	Аппаратура электронных цепей, телевизоры, видеомагнитофоны высокого качества воспроизведения, сигнализация, компьютеры и средства связи

■ Стоимость оборудования

C = 1	C = 2	C = 3
Низкая стоимость	Средняя стоимость	Высокая стоимость
< 2 тыс. долл. США	2 - 20 тыс. долл. США	> 20 тыс. долл. США

■ Неготовность оборудования и последствия

Принимается:

I = 1	I = 2	I = 3
Полное прекращение работы (низкие финансовые потери)	Частичное прекращение работы (приемлемые финансовые потери)	Без прерывания работы (неприемлемо высокие финансовые потери)

Рис. J20: Расчет риска перенапряжения на оборудовании, $R = S + C + I$

4 Выбор устройств защиты

Оценка защищаемого объекта

Применяется следующая формула:

$$E = N_g (1 + LV + MV + d) \text{ (J21)}$$

Где:

N_g: Плотность ударов молнии в землю (число ударов/км²/год)

Это значение может быть определено по карте со статистическими данными метеослужбы. Определив число дней с грозовой активностью в году (N_k) можно определить вероятность удара молнии

$$N_g = N_k/20$$

LV: Протяженность (в км) неизолированных или многожильных воздушных низковольтных линий питания объекта.

MV: Параметр, зависящий от сети среднего напряжения, питающей понижающую подстанцию.

d: Коэффициент, учитывающий местоположение воздушной линии и объекта.



LV: Протяженность (в км) неизолированных или многожильных воздушных низковольтных линий питания объекта

LV = 0	LV = 0.2	LV = 0.4	LV = 0.6	LV = 0.8	LV = 1
Подземные или витые кабели	L = 100 - 199 м	L = 200 - 299 м	L = 300 - 399 м	L = 400 - 499 м	L > 500 м
Длина ВЛ низкого напряжения					1

MV: Параметр, зависящий от сети среднего напряжения, питающей понижающую подстанцию среднего/низкого напряжения

MV = 0	MV = 1
Подземная линия понижающей подстанции среднего/низкого напряжения	Полностью или частично воздушная линия понижающей подстанции среднего/низкого напряжения

d: Коэффициент, учитывающий местоположение воздушной линии и объекта

d	d = 0	d = 0.5	d = 0.75	d = 1
Местоположение здания, линии среднего/низкого напряжения или телефонной линии	Полностью застроенный участок	Неполностью застроенный участок	Открытая или равнинная местность	На возвышении, рядом с водоемом, горная местность, рядом с молниеотводом

Рис. J21: Структура сети низковольтного электропитания, $E = N_g (1 + LV + MV + d)$

Рабочие перенапряжения

Устройство защиты от перенапряжений, рассчитанное на защиту от атмосферных перенапряжений, также обеспечивает защиту от рабочих перенапряжений.

Стержневой молниеотвод

Риск перенапряжений на объекте увеличивается при наличии молниеотвода на отметке выше 50 м на здании или соседнем участке.

Примечание: Объект высотой 20 м, такой как заводская дымовая труба, дерево, мачта и т.д., оказывает такое же влияние, как молниеотвод. Стандарт EN 61024-1 требует установки разрядника в основной энергосистеме, если защищаемый объект включает стержневой молниеотвод.

4.2 Выбор пропускной способности разрядников защиты от перенапряжений (низковольтная сеть)

После оценки рисков, связанных с нагрузкой (R) и объектом (E) необходимо определить пропускную способность (I_{max}) (форма волны 8/20) для низковольтных разрядников:

- Защита на вводе (см. Рис. J22)
- Вторичная защита

В обоих следующих случаях требуется разрядник вторичной защиты от перенапряжения:

- Если уровень защиты (U_p) крайне высокий в сравнении с выдерживаемым импульсным напряжением (U_i) оборудования объекта
- Если чувствительное оборудование расположено слишком далеко от входного разрядника $d > 30$ м.

Разрядник 8 кА должен устанавливаться на другом промежуточном распределительном щите рядом с чувствительными нагрузками.

	I = 1	I = 2	I = 3
R = 8 или 9	30- 40 кА	65 кА	65 кА
R = 6 или 7	15 кА ⁽¹⁾	30-40 кА	65 кА
R = 5	15 кА ⁽¹⁾	15 кА ⁽¹⁾	30-40 кА

Рис. J22: Выбор пропускной способности разрядника защиты от перенапряжения

J16

4.3 Выбор устройства для защиты от перенапряжений (ОПН) в зависимости от системы заземления (см. Рис. J23)

Система заземления	TT	TN-S	TN-C	IT
Значение U_c в общем режиме (защита фаза-земля, нейтраль-земля)	и 1.5 U_0	и 1.1 U_0	и 1.1 U_0	и 1.732 U_0
Значение U_c в дифференциальном режиме (защита фаза-нейтраль)	и 1.1 U_0 15 кА (1)	и 1.1 U_0 30-40 кА		и 1.1 U_0

U_0 : напряжение фаза-нейтраль

U_c : максимальное длительно допустимое рабочее напряжение

Выбор ОПН в зависимости от системы заземления

Предложение: PRD-PF-PE

Система заземления	TT	TN-S	TN-C	IT, распределенная нейтраль	IT, нераспределенная нейтраль
Макс. длительно допустимое рабочее напряжение U_c	345/360 В	345/264 В	253/264 В	398/415 В	398/415 В
Съемные устройства (ОПН)					
PRD					
MC $U_c = 275$ В			1P		
MC $U_c = 440$ В			3P		3P
MC/DM $U_c = 440/275$ В	1P + N 3P + N	1P + N 3P + N		1P + N 3P + N	
Фиксированные разрядники					
PF30-65 кА					
MC $U_c = 440$ В	1P + N 3P + N	1P + N 3P + N		1P + N 3P + N	
PF8-15 кА					
MC/DM $U_c = 440/275$ В	1P + N 3P + N	1P + N 3P + N		1P + N 3P + N	
PE					
MC $U_c = 440$ В			1P 3 x 1P		3 x 1P

В завершение выбора определитесь в отношении необходимости следующих элементов:

- Дистанционная сигнализация состояния разрядника
- Выключатель

Рис. J23: Значение U_c согласно международному стандарту IEC 60364-5-534

(1) Уровень риска низкий. Однако, если требуется установка разрядника, рекомендуется модель с I_{max} 15 кА.

4.4 Выбор выключателя (см. Рис. J24)

После выбора устройства защиты от перенапряжения, необходимо выбрать соответствующий выключатель из таблицы ниже:

- Его отключающая способность должна быть совместима с током короткого замыкания установки
- Каждый проводник под напряжением подлежит защите, например: разрядник 1P + N должен быть связан с 2-х полюсным выключателем (2 защищаемых полюса).

Полный ток разряда разрядников	Выключатель	
	Ном. ток	Характеристика
8-15-30-40 кА	20 А	C
65 кА	50 А	C

Рис. J24: Выбор выключателя